

VISIT...

LANZAROTE
Caliente.COM

Я. И. БОКИНИК

ТЕОРИЯ И ПРАКТИКА ЦВЕТНОЙ ФОТОГРАФИИ

Г О С К И Н О И З Д А Т
1941

ОГЛАВЛЕНИЕ

	Стр.
Предисловие	3
Глава I.	
Оснoвы учения о цвете	5
Глава II	
Восприятие цвета	43
Глава III	
Воспроизведение цвета	55
Глава IV	
Методы и аппаратура цветной съемки	100
Глава V	
Техника цветной съемки	115
Глава VI	
Общий обзор субтрактивных методов цветной печати	149
Глава VII	
Способ Карбро	165
Глава VIII	
Гидротипные способы. Способ Дуксохром	211
Глава IX	
Пигментные способы	226
Глава X	
Виpажные способы	234
Глава XI	
Растровые способы	249
Глава XII	
Сравнительная оценка цветопередачи для различных способов цветной фотографии. Эстетические соображения	275

ПРЕДИСЛОВИЕ

Предлагаемая вниманию читателей книга представляет собой первую попытку изложить важнейшие способы цветной фотографии на строго научной базе, в той мере, в какой она разработана в настоящее время.

Своеобразие и известная сложность существующих способов цветной фотографии делают совершенно необходимым отчетливое и глубокое понимание принципиальных основ передачи цвета.

При изложении техники цветной фотографии пришлось останавливаться, главным образом, на тех методах, которые или уже освоены нашей промышленностью (Карбро) или по крайней мере разработаны лабораторно (хроматон, двуцветный вираж и т. п.).

Остальные методы, приспособленные в большинстве случаев к импортным материалам, излагаются главным образом с точки зрения их принципиальных основ, которые, разумеется, сохраняют свою силу для материалов любого происхождения. Технические детали процесса и рецептура в этих случаях опускались, так как они могут меняться в зависимости от свойств применяемых материалов. В особенности это относится к растровым методам.

В книге собран большой, до сих пор неопубликованный материал о советских экспериментальных работах в области цветной фотографии, извлеченный из отчетов различных научных институтов и предприятий (НИКФИ, ГОИ, НИЛ и т. д.). В большинстве случаев он касается вопросов производства соответствующих материалов.

Не желая запутывать читателя изложением большого количества (свыше 400) существующих способов, боль-

шинство из которых сейчас почти не имеет практического значения, мы ограничились изложением лишь сравнительно небольшого числа методов, которые более или менее широко применяются и могут быть полезными для советского фотографа, работающего по цветной фотографии. Из тех же соображений мы отказались от исторического обзора развития цветной фотографии несмотря на весь его интерес. Необходимо все же отдать должное гению Дюко-де-Горона (Ducos de Hauron), который еще в 1868 г. совершенно ясно указал все те пути и принципы, которые с тех пор претворяются в жизнь сотнями работников этой области.

*Научно-исследовательская лаборатория
Главного управления фотопромышленности, 1939 г.*

ОСНОВЫ УЧЕНИЯ О ЦВЕТЕ

1. ОСНОВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЦВЕТА

Среди всех цветов особое место занимают ахроматические цвета. К ним относится белый, черный и все серые тона, начиная от более светлых и кончая самыми темными. При этом истинно ахроматическим, серым или нейтральным серым тоном будет такой серый, который получается при ослаблении яркости белого цвета, без всякого изменения его спектрального состава.

В противоположность ахроматическим цветам все цвета, обладающие более или менее выраженным цветным оттенком, называются хроматическими цветами.

Хроматические цвета отличаются друг от друга своей цветностью: желтые, красные, синие и др. Это качество хроматического цвета носит название **цветового тона**.

Резкой границы между ахроматическими и хроматическими цветами не существует. Есть много цветов с едва выраженным цветным оттенком, составляющих переход от ахроматических к хроматическим цветам. У других же цветов цветовой оттенок сильно выражен и их мы называем насыщенными. Таким образом, хотя наличие цветового тона уже указывает на некоторое отличие от ахроматического цвета, но степень этого различия или насыщенность может быть неодинакова для различных цветов. Хорошим примером изменения насыщенности может служить выцветание красок на солнце. По мере выгорания красок они теряют свою насыщенность, делаясь все более и более сероватыми. Такое же изменение насыщенности мы можем наблюдать, сравнивая синий цвет неба в зените с его цветом вблизи горизонта, где он будет более белесоватым, т. е. менее насыщенным.

Кроме того цвета, даже одинаковые по цветовому тону, могут быть светлее или темнее. Так, один и тот же цвет кажется нам менее светлым в тени и более светлым на солнце.

Мы можем сравнивать между собой по светлоте даже цвета различного цветового тона; совершенно очевидно, что желтый канареечный цвет светлее синего или зеленого. Подобным же образом можно сравнивать между собой хроматические и ахроматические цвета и всегда для любого хроматического цвета можно подобрать ахроматический (серый), который будет одинаково светлым или, как говорят, обладать одинаковой светлотой.

Таким образом мы можем определить светлоту как некоторое особое качество цвета, по которому к любому цвету может быть подобран соответствующий ахроматический.

Перечисленные три качества цвета — цветовой тон, насыщенность и светлота — называются основными характеристиками цвета, так как с их помощью цвет может быть полностью и однозначно определен.

Хроматические цвета отличаются по этим трем качествам. Если они одинаковы для двух сравниваемых цветов, то эти цвета неотличимы друг от друга.

Ахроматические цвета различаются между собой только по светлоте.

Как мы увидим далее, введение трех основных характеристик цвета имеет то преимущество, что допускает не только качественное описание, но и количественное выражение цвета.

2. МОНОХРОМАТИЧЕСКИЙ И СЛОЖНЫЙ СВЕТ

Цветовое ощущение возникает в нашем глазу при падении в него света.

Свет, как известно, представляет собой один из видов электромагнитных колебаний (волн), к которым относятся также радиоволны, тепловые (инфра-красные) лучи, рентгеновы лучи и т. п.

Электромагнитные волны характеризуются двумя параметрами: длиной волны, т. е. расстоянием между двумя максимальными значениями электромагнитной энергии (гребнем волн) и энергией (интенсивностью) излучения. Длина волн измеряется в миллимикронах, т. е. в миллионных долях миллиметра ($m\mu$).

Наш глаз чувствителен только к весьма малой области электромагнитных колебаний, охватывающей колебания с длиной волны, примерно, от 380 до 760 $m\mu$. Световые волны, лежащие в этих пределах, действуя на наш глаз, вызывают

ощущение цвета. Электромагнитные колебания этих длин волн носят название видимого света. В дальнейшем видимый свет мы будем для краткости называть термином „свет“.

Излучение обычных источников света — дневной свет, свет электрических ламп и т. п. состоит из смеси обычно весьма большого числа колебаний с различными длинами волн и содержит в большей или меньшей степени все длины волн видимого света. Такой свет называется сложным или смешанным.

Свет, состоящий из колебаний только одной длины волны, называется простым или монохроматическим. С такого рода светом мы встречаемся только в исключительных случаях и удобнее всего его можно получить, выделяя из спектра с помощью щели возможно более узкую полосу. Полученный таким образом свет не будет вполне монохроматическим, так как щель, имея хотя и малую, но все же некоторую конечную ширину, вырезает в спектре множество длин волн, чрезвычайно близких друг к другу.

В последнее время в технике получили большое распространение так называемые газосветные лампы, свечение которых происходит при прохождении тока через газы или металлические пары: неон, аргон, гелий, пары ртути, натрия и др. Излучение таких ламп состоит только из небольшого числа отдельных монохроматических колебаний, и спектр, даваемый ими, состоит из нескольких отдельных спектральных линий.

Рассматривая сплошной спектр, мы замечаем, что цвет того или иного спектрального участка зависит от его положения в спектре, т. е. от длины волны. Цветовой тон спектрального монохроматического света однозначно определяется длиной волны, которая характеризует его с качественной стороны. Однако этого еще недостаточно для его полной характеристики. Необходимо еще знать интенсивность монохроматического света. Она определяет количество энергии, переносимой данным светом, и может быть весьма точно измерена при помощи специальных физических приборов.

Сравнивая между собой ощущения, вызываемые в нашем глазу различными спектральными лучами, мы обнаружим, что даже при одинаковой интенсивности они обладают различной светлотой. Это происходит потому, что наш глаз неодинаково чувствителен к лучам различной длины волны. Наибольшей чувствительностью он обладает к желто-зеленым лучам с длиной волны примерно в 555 μ , наименьшей — к лучам обоих концов спектра, как это показано на рис. 1. Кривая на рисунке характеризует относительную яркость различных лучей одинаковой интенсивности и носит название кривой видности. Таким образом

яркость (светлота) какого-нибудь монохроматического излучения определяется как его интенсивностью, так и видностью.

3. РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ЭНЕРГИИ В СПЕКТРЕ СЛОЖНОГО СВЕТА

Сложный свет представляет собой смесь колебаний различной длины волны, т. е. смесь монохроматических лучей.

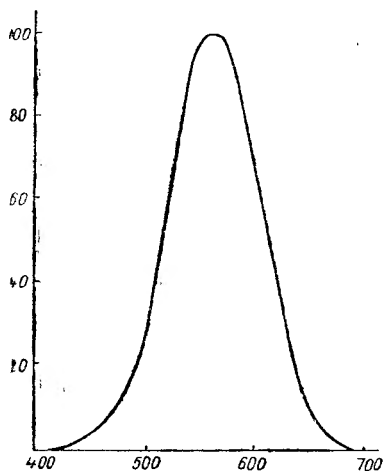


Рис. 1. Кривая видности

Поэтому характеристика сложного света может быть дана, если указать состав и относительные количества образующих его отдельных монохроматических лучей. Измерения такого рода могут быть выполнены с помощью так называемых спектрофотометров, в которых исследуемый свет разлагается в спектр и определяется относительная интенсивность отдельных монохроматических лучей. Результаты этих измерений показывают нам, как распределяется световая энергия между различными монохроматическими колебаниями в спектре исследуемого света. Нанеся эти данные

на график, получим кривую спектрального распределения энергии исследуемого света.

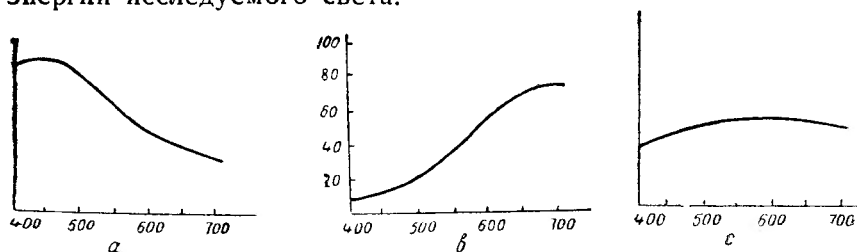


Рис. 2. Кривые спектрального распределения энергии

a — рассеянный дневной свет; *b* — свет электрической лампы; *c* — прямой солнечный свет

На рис. 2 приведены такие кривые для разных источников света. В свете электрической лампы большая часть световой энергии примерно 60% приходится на красные лучи, 27% — на зеленые и около 13% — на синие. Из этого рисунка видно также, что в солнечном свете энергия распределена гораздо равномернее.

4. СПЕКТРАЛЬНЫЙ СОСТАВ ИЗЛУЧЕНИЯ И ЕГО ОКРАСКА

Различные монохроматические излучения производят на глаз качественно различные впечатления (цвет). Сложные излучения, состоящие из смеси монохроматических излучений, также дают ощущение цвета. Основной задачей науки о цвете и является установление связи между спектральным составом излучаемого света и тем цветовым ощущением, которое им вызывается.

С чисто физической стороны каждое сложное излучение полностью определяется спектральной кривой распределения энергии. Два световых потока, имеющие одинаковое распределение энергии, будут с точки зрения физики совершенно одинаковыми. Они будут вызывать в одинаковых условиях совершенно одинаковые физические или химические явления и для нашего глаза будут казаться при одинаковых условиях вполне тождественными по цвету. Поэтому, зная состав света, т. е. зная его спектральное распределение энергии, мы всегда сможем при нормальных условиях видения однозначно характеризовать его цвет.

Однако, если два световых потока одинаковы по спектральному составу и вызывают всегда одинаковое цветовое ощущение, то обратное заключение оказывается несправедливым.

Опыт показывает, что два излучения, дающие в точности одинаковое ощущение цвета, могут обладать совершенно различным составом.

В тесной связи с этим стоит вопрос о том, какое число переменных необходимо для характеристики цветового ощущения.

Если бы каждой возможной кривой спектрального распределения энергии соответствовало свое, отличное от других, цветовое ощущение, то цветовые ощущения были бы так же многообразны, как все возможные спектральные кривые. В таком случае для характеристики цвета нужно было бы полностью знать его спектральное распределение для всех длин волн видимого света, т. е. пришлось бы характеризовать цвет с помощью бесконечного числа переменных.

Опыт показывает, однако, что цветовое ощущение полностью определяется всего тремя переменными: цветовым тоном, насыщенностью и светлотой.

Свойство света как лучистой энергии полностью определяется спектральным распределением энергии; свет же как возбудитель ощущения в нашем глазу (световой стимул) определяется помимо физических свойств светового потока еще и особенностями нашего глаза.

Реакцию глаза на свет можно сравнить с работой фотопластинки. При фотографировании тождественные излу-

чения дают одинаковые почернения (реакция пластинки на свет), в то время как одинаковые почернения могут возникнуть под действием света различного спектрального состава.

5. СМЕШЕНИЕ ЦВЕТОВ

В основе учения о цветовых ощущениях лежат опыты по смешению цветов, т. е. искусственному составлению сложного цвета из отдельных монохроматических лучей или же из сложных излучений того или иного цвета.

В этой главе мы будем рассматривать только такой случай смешения, когда смешиваемые световые потоки попадают в наш глаз независимо друг от друга (оптическое смешение).

Опыты по смешению монохроматических спектральных лучей показывают, что при смешении в разных пропорциях лучей, находящихся в спектре недалеко друг от друга, получаются цвета, имеющие одинаковый цветовой тон с лучами, лежащими в спектре между смешиваемыми, но менее насыщенные по сравнению со спектральными. При этом можно воспроизвести полностью все цвета промежуточных цветовых тонов и никаких новых цветовых тонов, не имеющих в данном отрезке спектра, не получится. Лишь при смешении лучей, лежащих в противоположных концах спектра (красные и фиолетовые), получаются так называемые пурпурные (малиновые) цвета, не представленные в спектре.

При надлежащем выборе трех спектральных лучей и смешении их в надлежащих пропорциях можно получить цвета всех цветовых тонов. Следует однако заметить, что никакой выбор трех исходных цветов не позволяет получить все остальные цвета в их полной насыщенности. Наилучших результатов можно достичь, если взять в качестве основных цветов два крайних цвета спектра (красный и фиолетовый) и один средний — зеленый (около $540\text{ m}\mu$).

Сложные цвета, полученные путем такого смешения из трех основных цветов, будут отличаться от чистых спектральных цветов меньшей насыщенностью и полностью совпадать с ними по цветовому тону. Так например, одинаковыми по цветовому тону будут как монохроматический спектральный желтый, так и надлежащим образом составленная смесь из красных и зеленых лучей, в которой желтые спектральные лучи отсутствуют.

Возможность получения всех цветов из трех основных приводит к естественному предположению, что и в нашем глазу любое цветовое ощущение получается в результате суммирования трех элементарных процессов, из которых один должен в наибольшей степени возбуждаться крас-

ным светом, другой — зеленым и третий — сине-фиолетовым. При любом ощущении цвета возбуждаются все эти три процесса только с разной интенсивностью в зависимости от взятого цвета.

6. ТРЕХЦВЕТНАЯ ТЕОРИЯ ЗРЕНИЯ

На этом и основана почти общепринятая ныне трехкомпонентная теория цветного зрения, или, как ее обыкновенно называют, трехцветная теория зрения. Она была впервые сформулирована почти одновременно и независимо друг от друга Юншем и Томасом Юнгом, который в 1802 г. в своем докладе Королевскому обществу в Лондоне изложил ее основные принципы. „Мало вероятно, — писал Юнг, — что для каждой длины волны попадающего в наш глаз света имеется особый воспринимающий аппарат. Необходимо предположить, что число этих воспринимающих аппаратов ограничено, например, числом трех основных цветов“.

Высказанная Юнгом гипотеза была разработана Гельмгольцем и Максвеллом в 1855 г. Последний в 1859—1861 гг. произвел свой знаменитый опыт первого воспроизведения цвета смещением трех основных с помощью фотографии и поэтому справедливо считается отцом цветной фотографии.

Согласно Гельмгольцу, воспринимающая свет сетчатая оболочка, содержит три сорта нервных волокон¹. Изолированное возбуждение одного из них дало бы впечатление очень насыщенного красного, возбуждение другого дало бы ощущение насыщенного зеленого и возбуждение третьего — насыщенного фиолетового. Однако раздражающий свет никогда не действует только на один из этих нервных центров, а на все три или по крайней мере на два. При этом волны различной длины возбуждают эти центры в различной степени, и цветовое ощущение зависит от соотношения величин этих трех возбуждений.

7. КРИВЫЕ ОСНОВНЫХ ОЩУЩЕНИЙ

Путем весьма сложных опытов ряду исследователей (Кёниг и Дитеричи, Айвс, Н. Т. и В. И. Федоровы и др.) удалось установить степень возбуждения этих нервов монохроматическими лучами различной длины волны, т. е. другими словами определить их спектральную чувствительность.

Эти данные интерпретируются в виде так называемых кривых основных ощущений и представлены на рис. 3.

¹ Или же внутри каждого волокна могут протекать процессы трех родов.

Ординаты этих кривых пропорциональны раздражениям, которые вызываются в соответствующих нервных центрах лучами разных длин волн, содержащимися в спектре дневного света. В некоторых случаях более удобным оказывается видоизменить эти кривые таким образом, чтобы их ординаты давали бы долю (в процентах) участия каждого из центров в общем возбуждении, вызванном данной длиной волны.

Такие кривые приведены на рис. 4.

Рассматривая рис. 3, мы видим, что более короткие волны раздражают преимущественно „синий“ центр только

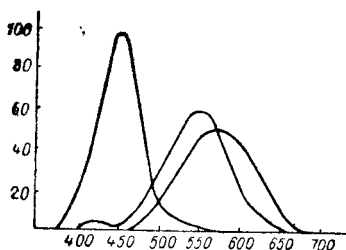


Рис. 3. Кривые основных ощущений

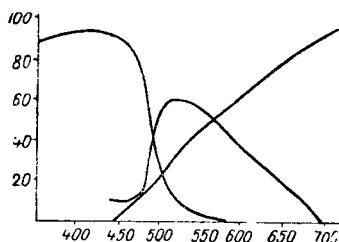


Рис. 4. Относительные кривые основных ощущений

в небольшой степени „красный“. С увеличением длины волны раздражение „синего“ центра растет вначале гораздо быстрее, чем красного и поэтому на краю спектра мы видим фиолетовый (синий + красный) цвет. Примерно с 440 $m\mu$ начинает реагировать „зеленый“ центр. Возбуждение зеленого центра все возрастает и около 480 $m\mu$ сравнивается с возбуждением красного центра. В этом месте мы видим синий цвет (несколько менее насыщенный, чем основной синий). Далее, при 490 $m\mu$, раздражение зеленого центра, возрастая, сравнивается с раздражением синего, а затем начинает преобладать над ним. Цвет при этом переходит из зеленовато-синего в сине-зеленый. Около 510 $m\mu$ раздражения синего и красного центров сравниваются, и мы начинаем видеть чисто зеленый цвет, (т. е. цвет, совпадающий по тону с основным зеленым).

Для больших длин волн к все возрастающему раздражению зеленого центра прибавляется увеличивающееся раздражение красного, которое начинает преобладать над синим. В результате этого зеленый цвет постепенно переходит в желто-зеленый и около 580 $m\mu$, где раздражения красного и зеленого центров сравниваются, а синий не раздражен совсем, мы видим чистый желтый цвет. После этого, раздражение красного центра все время преобладает над зеленым и цвет спектра все более „краснеет“, переходя от желтого к оранжевому и, наконец, к красному.

Трехцветная теория должна объяснить нам тот факт, что белый дневной свет, который, как мы знаем из опытов с призмой, состоит из смеси всех спектральных цветов, производит ощущение белого цвета. Согласно трехцветной теории зрения мы получаем ощущение ахроматического цвета — белого или серого — всякий раз, когда раздражения всех трех центров одинаковы.

Хроматические цветные ощущения получают лишь тогда, когда один или два центра раздражены сильнее, чем остальные. От величины этого перевеса в раздражении зависит степень отличия хроматического цвета от ахроматического. Чем перевес меньше, тем цвет ближе к ахроматическому, чем он больше, тем цветовой оттенок более выражен. Монохроматический свет, состоящий из колебаний только одной длины волны, представляет собой, очевидно, наиболее чистый насыщенный цвет, который мы можем получить. Однако такие насыщенные цвета встречаются только в виде спектральных и обычно в природе не наблюдаются. С другой стороны, имеется ряд таких цветов, которые отсутствуют в спектре. Таковы все ахроматические цвета, пурпурные (красно-фиолетовые) и многочисленные малонасыщенные (белесоватые или сероватые) цвета.

Все они вызываются сложным светом, представляющим собой смесь различных монохроматических лучей. Когда на наш глаз действует такая смесь, то каждый из ее компонентов — монохроматических спектральных — раздражает три основных нервных центра. Все эти раздражения между собой складываются так, что раздражение, вызванное сложным цветом в каждом из нервных центров, будет равно сумме раздражений этого центра всеми спектральными, входящими в состав сложного цвета. Состав дневного света таков, что все эти три раздражения оказываются равными между собой, и мы воспринимаем его в виде белого цвета.

В свете электрической лампы меньше синих лучей и поэтому ее свет, по сравнению с дневным, кажется желтоватым, так как раздражение синего центра отстает от раздражения красного и зеленого.

Ощущение белого цвета можно достичь, смешивая все спектральные в том именно соотношении, в котором они содержатся в спектре белого света. Однако этот же результат может быть достигнут еще и другим путем. Спектральный желтый (длина волны около $580\text{ м}\mu$) возбуждает в одинаковой степени красный и зеленый центры и совсем не возбуждает синего. Напротив, спектральный

синий (длина волны около 470 μ) главным образом возбуждает синий центр и лишь незначительно, но в равной степени, возбуждает красный и зеленый.

Смешивая желтые и синие спектральные, мы достигаем раздражения всех трех центров, и полученный сложный свет будет белесоватым, менее насыщенным. Пользуясь кривыми ощущений, можно легко подобрать такое соотношение интенсивностей этих обоих лучей, при котором раздражения все трех центров сравняются (это будет достигнуто, если взять примерно 45% синего и 55% желтого света). В этом случае мы получим белый цвет.

Смешивая в надлежащих пропорциях попарно красный с сине-зеленым, фиолетовый с желто-зеленым и т. д., получим снова чисто белый цвет. Цвета таких излучений, которые при смешении дают белый цвет, называются дополнительными цветами.

Однако дополнительными цветами могут быть не только спектральные, но и цвета сложных излучений, составленные из лучей различных длин волн. Так например, мы можем в предыдущем опыте взять не желтый спектральный, а равный ему по цветовому тону свет, составленный из смеси красных и зеленых лучей. Как мы уже знаем, он вызывает то же раздражение красного и зеленого центров, что и чистый спектральный желтый, и потому также даст при смешении с синим белый цвет.

Пары дополнительных спектральных цветов определялись многими наблюдателями. Значения длин волн взаимно дополнительных лучей, рекомендованные в качестве стандартных Международным осветительным комитетом (округленные значения) приведены в следующей таблице:

Длины волн дополнительных цветов

λ	Доп. λ	λ	Доп. λ	λ	Доп. λ
700	495,5	620	494,3	470	573,0
680	495,5	610	493,4	460	571,0
670	495,5	600	491,9	450	570,0
660	495,4	590	485,0	440	569,4
650	495,3	580	482,4	430	569,0
644	495,1	490	593,0	420	568,7
630	494,8	480	577,9	410	568,7
				400	568,7
				380	568,6

Свет примерно от 570 μ до 495 μ не имеет простого монохроматического дополнительного цвета. Этот факт вызывается тем обстоятельством, что в спектре отсутствуют

пурпурные цвета, представляющие переход от красных к фиолетовым. Эти-то цвета и будут дополнительными к средней зоне спектра — от желто-зеленого до зелено-голубого.

9. СЕЛЕКТИВНОЕ ПОГЛОЩЕНИЕ СВЕТА

Все тела природы мы можем разделить на две большие группы: тела самосветящиеся или источники света и тела несамосветящиеся, которые только отражают или пропускают через себя падающий на них свет. К этой группе принадлежит подавляющее большинство видимых нами тел.

Самосветящиеся тела являются источниками света и испускают свет того или иного состава.

Остальные предметы видны только в том случае, когда они освещены. Свет, исходящий от таких тел, в очень сильной степени зависит по своему спектральному составу от состава освещающего света. Таким образом цвет какой-нибудь краски в значительной степени определяется составом того света, которым эта краска освещена.

Наиболее удобно знакомиться с явлениями поглощения, рассматривая явления поглощения в прозрачных телах (окрашенные стекла или жидкости). Поглощение света в этом случае состоит в постепенном исчезновении излучения, проходящего через излучаемую среду. Исчезнувшая таким образом лучистая энергия превращается в эквивалентное количество теплоты или других видов энергии. Для начала мы исключаем случаи так называемых мутных сред, в которых, кроме того, имеет еще место рассеяние светового потока. Эти явления будут рассмотрены позже.

Для большинства прозрачных тел степень поглощения света различных длин волн неодинакова. Благодаря селективному (избирательному) поглощению свет после прохождения через такое тело, изменит свой спектральный состав: лучи некоторых длин волн пройдут почти не изменившись в своей интенсивности, в то время как волны другой длины будут ослаблены чрезвычайно сильно и иногда совсем поглощены. Свет, проходя через среду с селективным поглощением, изменяет не только свою яркость, но и свой спектральный состав и, следовательно, меняет свою окраску.

Имеются конечно и такие среды, для которых поглощение оказывается неселективным. В таких случаях мы говорим о бесцветных телах, если поглощение в них ничтожно мало, или о нейтрально-серых в случае поглощения более сильного, но равномерного по всему спектру.

Физикой установлены следующие законы поглощения света в прозрачных телах:

1. При поглощении света данным телом всегда поглощается определенная доля падающего на тело монохроматического излучения, независимо от силы этого излучения и от наличия других излучений. Если обозначить через $I_{o\lambda}$ интенсивность монохроматического света длины волны λ , упавшего на поверхность поглощающей среды, а через I_λ интенсивность прошедшего через нее света, то величина

$$\alpha_\lambda = \frac{I_{o\lambda} - I_\lambda}{I_{o\lambda}} = 1 - \frac{I_\lambda}{I_{o\lambda}}$$

называемая удельным поглощением, будет показывать нам долю поглощенного монохроматического света.

Величина удельного поглощения для монохроматического света не зависит ни от его силы, ни от присутствия других излучений.

2. Удельное поглощение зависит от оптических свойств тела и от пути, пройденного светом в поглощающей среде. Математическая формулировка этого закона (закон Ламберта) приводит к такому уравнению

$$\frac{I_\lambda}{I_{o\lambda}} = T_\lambda = 10^{-k_\lambda d}$$

где отношение $\frac{I_\lambda}{I_{o\lambda}}$ есть коэффициент пропускания или прозрачность, d — толщина поглощающей среды, а k_λ — коэффициент погашения (экстинкции), характеризующий поглощение среды для данной длины волны λ .

Величина $D_\lambda = -\log T_\lambda = \log \frac{I_{o\lambda}}{I_\lambda}$ называется оптической плотностью среды и очевидно $D_\lambda = k_\lambda \cdot d$.

Оптическая плотность прямо пропорциональна толщине поглощающей среды.

Для селективно-поглощающих тел поглощение различных монохроматических лучей будет неодинаково. Поэтому, желая охарактеризовать поглощение сложного света таким телом, мы должны указать величину поглощения для каждого монохроматического излучения, входящего в состав нашего света. При этом величины поглощения мы можем выражать либо в значениях коэффициента пропускания T_λ , либо в величинах коэффициента погашения K_λ .

Такого рода измерения можно произвести с помощью спектрофотометров, и графическая интерпретация полученных результатов даст нам кривую поглощения или пропускания для данного тела.

На рис. 5 приведены некоторые типические кривые пропускания для ряда окрашенных стекол.

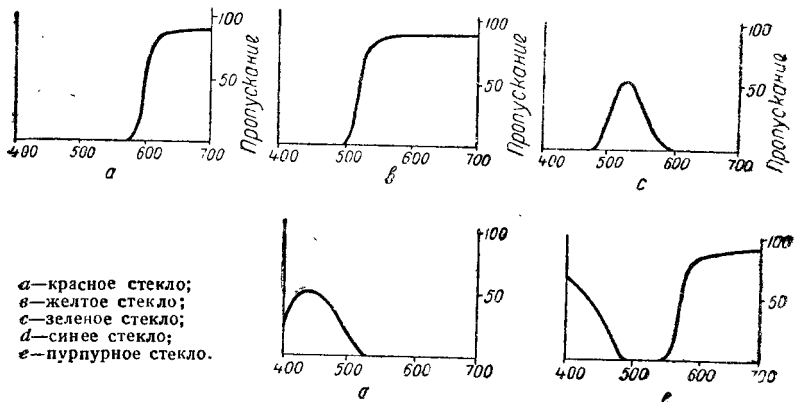


Рис. 5. Кривые спектрального пропускания типичных окрашенных стекол

Спектральный состав света, прошедшего через поглощающее тело, будет определяться как поглощением в самом теле, так и спектральным составом падающего на него света. Если мы обозначим через E_λ энергию излучения длины волны в свете, падающем на тело, и через E'_λ энергию той же длины волны после поглощения, то очевидно

$E'_\lambda = E_\lambda \cdot T_\lambda$. Нанося значения E'_λ для разных длин волн на график, получим кривую спектрального распределения энергии света, прошедшего через поглощающую среду.

Само собою разумеется, что вид этой кривой будет различен для различных источников света, освещающих исследуемую среду. На рис. 6 приведены кривые спектрального распределения энергии в спектре света различных источников после прохождения через окрашенное стекло.

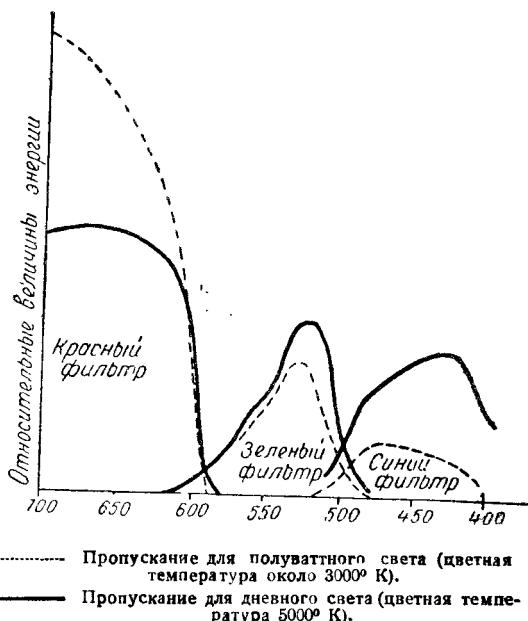


Рис. 6. Кривые спектрального пропускания при различных источниках света

10. ВОЗНИКНОВЕНИЕ ОКРАСКИ В РЕЗУЛЬТАТЕ СЕЛЕКТИВНОГО ПОГЛОЩЕНИЯ

Рассмотрим теперь подробнее влияние селективного поглощения отдельных более или менее широких участков спектра на окраску поглощающих свет предметов.

Пусть наша среда (скажем, цветное стекло) полностью поглощает всю фиолетовую часть спектра с длинами волн от 400 до 440 μ , пропуская все остальные лучи без изме-

нения. Мы говорим в таком случае о полосе поглощения шириной в 40 μ , лежащей в фиолетовой части спектра.

Окраска света, прошедшего через такое стекло, составит в результате оптического смешения всех лучей, кроме погло-

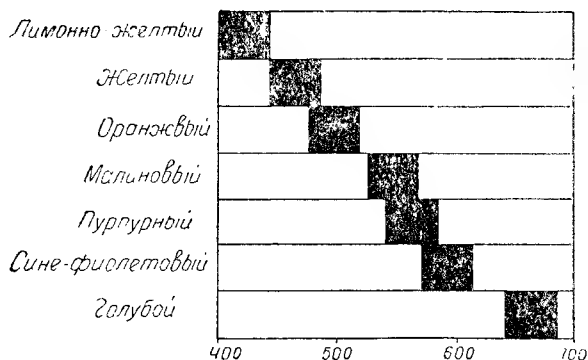


Рис. 7. Зависимость окраски от положения полосы поглощения

щенных, т. е. красных, зеленых и частично синих. Как легко видеть, цвет этой смеси будет дополнительным к цвету, соответствующему полосе поглощения, т. е. лимонно-желтым (дополнительный фиолетовому).

Если полоса поглощения переместится в синюю часть (примерно 440—480 μ), то цвет будет желтым. На рис. 7 показано изменение цвета по мере передвижения сравнительно узкой полосы поглощения из синей в красную область спектра.

Рассматривая кривые спектрального пропускания различных окрашенных стекол, приведенные на рис. 5, мы видим, что они пропускают не отдельные монохроматические лучи, а более или менее широкие участки спектра.

Общее количество света, прошедшего через такое стекло, будет зависеть при прочих равных условиях от ширины пропускаемого им спектрального участка. Чем уже этот участок, тем меньше света будет проходить через наше стекло и тем оно будет темнее. Поэтому, если бы и можно было изготовить такое стекло, которое пропускало бы через себя только монохроматический свет одной определенной длины волны, то оно было бы таким темным, что не могло бы иметь никакого практического значения.

С другой стороны, насыщенность окраски такой прозрачной среды находится в прямой зависимости от ширины пропускаемого ею спектрального промежутка. Наиболее насыщенная окраска присуща именно монохроматическому свету. Цвета, представляющие собой смесь всех монохроматических колебаний, находящихся в некотором спектральном участке, менее насыщены, т. е. более приближаются к белому.

Поэтому и цвет окрашенных прозрачных сред будет тем более насыщен, чем уже пропускаемый ими спектральный участок. Так например, зеленое стекло, кривая про-

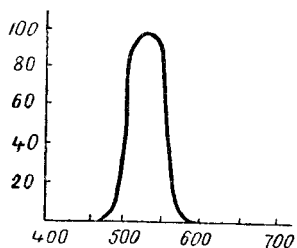


Рис. 8. Спектральное пропускание „насыщенного“ зеленого стекла

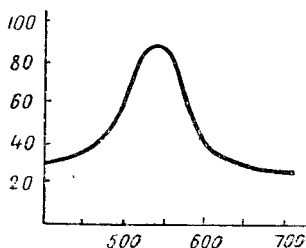


Рис. 9. Спектральное пропускание „ненасыщенного“ зеленого стекла

пускания которого показана на рис. 8, обладает более насыщенной окраской, чем стекло с более широкой областью пропускания (рис. 9).

В нашей схеме отсутствует зеленый цвет. Его нельзя получить путем поглощения одной узкой зоны из спектра белого света. Для этого мы должны поглотить как красные, так и синие лучи. В зависимости от относительной величины поглощения в этих частях спектра мы будем иметь дело с различными оттенками зеленого. Так, если поглощение синих лучей много меньше, чем красных, то мы получим сине-зеленый цвет. Напротив, слабое поглощение красных лучей при сильном ослаблении синих даст желто-зеленый цвет.

Цвета тел природы, как правило, никогда не обладают такими резко отграниченными полосами поглощения, как это было показано на схеме рис. 7. На рис. 10 показано поглощение предмета, обладающего „идеальной“ зеленой окраской, т. е. имеющего резко срезанные полосы поглощения в синей и красной части. Для сравнения (жирной чертой) на этом же рисунке дана кривая пропускания обычного зеленого красителя. Последний обладает весьма пологими кривыми пропускания (полосы поглощения „размытые“, т. е. без резких границ) и пропускает заметную долю оран-

жевых и синих лучей. Поэтому насыщенность такой зеленой окраски будет меньше, чем „идеального“ зеленого цвета с резкими полосами поглощения. Аналогичную картину мы можем иметь с фиолетовым красителем, кривая поглощения которого по сравнению с „идеальной“ приведена на рис. 11.

Резкость полосы поглощения имеет большое значение для насыщенности цвета. Большинство красителей обладает полосами поглощения, более или менее резко обрывающимися в красную сторону и постепенно переходящими в пропускание со стороны коротких длин волн, как например на рис. 11. В последнем случае имеет место довольно

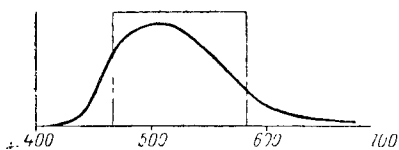


Рис. 10. „Идеальный“ и „практический“ зеленый цвет

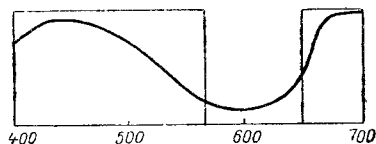


Рис. 11. „Идеальный“ и „практический“ фиолетовый цвет

значительное поглощение даже в тех частях спектра, которые пропускаются такими красителями (в нашем примере в синей и фиолетовой зонах). Поэтому те цвета, которые характеризуются крутыми кривыми поглощения, — красные, оранжевые и желтые, — являются относительно более насыщенными, чем цвета с пологими полосами поглощения — сине-зеленые, синие и фиолетовые.

11. ВОЗНИКНОВЕНИЕ ОКРАСКИ НЕПРОЗРАЧНЫХ ТЕЛ

Явления поглощения света играют доминирующую роль и в случае непрозрачных тел. Однако здесь они несколько усложняются наличием отражения и рассеяния света.

Как известно, луч света, поступающий из одной среды в другую (из воздуха в стекло), испытывает на границе этих сред изменение в направлении своего распространения: часть света вступает в тело под несколько другим углом, чем падающий луч (преломление), а часть света отражается от поверхности второй среды обратно под тем же углом (отражение).

Преломление света обязано своим возникновением неодинаковой скорости распространения света в различных средах. Отношение скоростей света в двух средах, или показатель преломления, определяет собой не только направление преломленного луча, но и соотношение между интенсивностью преломленных и отраженных лучей. Чем

больше разница в показателях преломления обеих сред, на границе которых происходит отражение, тем большая доля света отражается от поверхности.

Если поверхность отражения оптически отполирована, т. е. имеет лишь малые по сравнению с длиной световой волны неровности, то световой поток отражается от нее зеркально под углом, равным углу падения. Если же неровности поверхности превышают по размерам длину волны (матированные поверхности), то отражение будет рассеянное, более или менее равномерно распределенное во все стороны (диффузное отражение).

Для громадного большинства тел отражение неселективно, т. е. лучи с различной длиной волны отражаются почти в одинаковой степени. Исключение в этом отношении составляют только металлы и некоторые анилиновые краски в сухом виде, обладающие металлическим блеском.

В силу такой неселективности отражения спектральный состав, а следовательно и окраска отраженного света, практически не меняются. Свет, отраженный от самой поверхности, не изменяет своей окраски.

Описанные явления имеют место, однако, лишь в том случае, когда отражение происходит только на самой поверхности тел. Такое отражение наблюдается, либо когда отражение от поверхности очень велико (блики на полированных поверхностях, застекленные картины в положении, при котором стекло „отсвечивает“), либо когда рассеяние света телом и отражение от грунта малы сравнительно с поглощением (черное стекло, прозрачные слои на темном фоне).

В большом числе практически важных случаев явления простого поверхностного отражения осложняются явлениями рассеяния и отражения в самой среде и поглощения ею части рассеянного света. В противоположность поверхностному отражению эти явления, в особенности поглощение, отличаются резко выраженной селективностью и в совокупности вызывают окраску света, отраженного от тела. Наиболее важным для нас примером такой среды является слой краски, оптические явления в котором нам предстоит рассмотреть подробнее.

12. ОПТИЧЕСКИЕ ЯВЛЕНИЯ В СЛОЕ КРАСКИ

Красочный слой состоит из прозрачного связующего вещества (масла, клея, желатины), в толще которого находится само красочное вещество в виде чрезвычайно мелких крупинок. Красочный слой нанесен на грунт (бумагу, холст и т. д.) и наружной гладкой поверхностью граничит с воздухом. Такой слой представляет собой пример мутной среды, т. е. однородной среды, твердой, жидкой или

газообразной, в которой взвешены многочисленные, очень малые посторонние частички.

Световой поток, падающий на границу мутной среды, частично отражается от нее, а частично проникает вглубь. Проникший в глубь среды световой поток разделяется на три части: поток, пропущенный без рассеяния (как если бы среда не была мутной), поток, рассеянный по различным

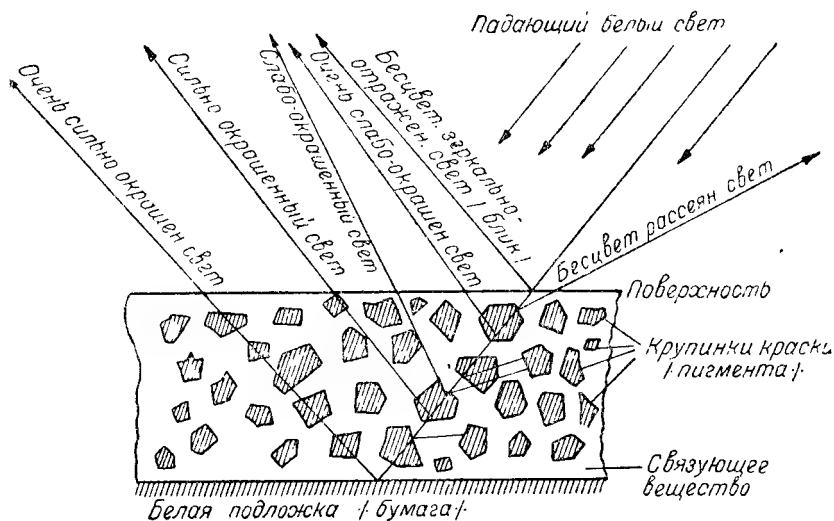


Рис. 12. Схематический разрез слоя краски

направлениям, и поток, поглощенный либо самой средой, либо взвешенными в ней частичками.

На рис. 12 изображен схематически красочный слой в разрезе.

Допустим, что мы освещаем его ахроматическим (белым) светом. Попадая на наружную поверхность слоя, световой поток частично отразится от поверхности, а частично проникнет внутрь слоя, изменив при этом свое направление (преломившись).

Отраженный свет будет бесцветным, а преломленный свет, проникнув внутрь красочного слоя, встретит на своем пути связующее вещество и крупинки краски. Так как показатель преломления краски отличается от показателя преломления связующего вещества, то внутри слоя, на границе краски и связующего вещества, свет, встретив крупинку краски, снова разделится на отраженный и преломленный. Отраженный рассеянный свет будет еще бесцветным, так как прошел только слой бесцветного связующего вещества, а преломленный свет пройдет через кру-

пинку краски и при этом окрасится, так как краска обладает селективным поглощением. Свет по выходе из частички краски снова разделится на отраженный и преломленный. Отраженный свет возвратится обратно и будет теперь уже окрашенным, хотя и слабо, так как успел пройти только очень тонкий слой краски.

Преломленный свет пойдет в глубь слоя, где снова будет подвергаться описанным уже процессам многократного преломления и отражения на частицах краски. Свет, отразившийся в глубине красочного слоя, будет возвращаться к поверхности через выше лежащие крупинки краски. Таким образом свет, исходящий из красочного слоя, будет по мере углубления проходить все больший и больший путь в частицах краски и, следовательно, делаться все более и более насыщенным.

Если красочный слой толст или частицы краски мало прозрачны (так называемые кроющие краски), то весь свет в конце концов отразится или поглотится в толще краски и практически не дойдет до грунта, на который краска нанесена. В тонких слоях или прозрачных красках (лессирующие краски) свет достигнет белого грунта, отразится от него и выйдет на поверхность, пройдя сквозь слой краски снизу вверх. Само собой разумеется, что этот свет, прошедший дважды через весь красочный слой, будет наиболее насыщенным.

В результате этих процессов отражения и поглощения с поверхности красочного слоя будут выходить лучи, рассеянные на различных глубинах красочного слоя и обладающие вследствие этого различной насыщенностью. Эти лучи, суммируясь в результате оптического сложения, и определяют собой видимый цвет краски.

Такого рода оптические явления, протекающие в красочном слое, объясняют то сильное влияние, которое оказывает даже бесцветное связующее вещество на цвет краски.

Связующая среда красочного слоя (масло, клей и т. п.) обладает меньшим показателем преломления, чем частицы краски, но большим, чем воздух. В силу этого при уменьшении показателя преломления среды происходит следующее.

1. Ослабляется зеркально отраженный от поверхности свет, т. е. уменьшается блеск красочного слоя.

2. Усиливаются отражения внутри слоя и, следовательно, уменьшается доля насыщенного света, прошедшего через крупинки краски и отраженного от грунта. Окраска делается более белесоватой, менее насыщенной.

Все эти явления хорошо заметны при высыхании клеевых красок. При этом вода связующей среды (клей, желатина) заменяется воздухом, в силу чего показатель пре-

ломления среды уменьшается. Блеск краски, которым она обладала в мокром состоянии, совершенно исчезает и насыщенность окраски теряется.

Эти же соображения полностью применимы и к обычным черно-белым фотографическим отпечаткам на бумаге, где роль краски (кроющей) играет мелко раздробленное металлическое серебро фотографического изображения.

Размеры крупинок красящего вещества, составляющего красочный слой, также имеют определенное влияние на окраску. Чем меньше размер крупинок, т. е. чем тоньше растерта краска, тем большее число частиц, отражающих свет, будет встречено лучом при его прохождении через слой. Поэтому внутри слоя будет рассеяно больше света, что понижает насыщенность окраски.

Само собой разумеется, что эти соображения справедливы в тех пределах, в которых слишком грубый помол краски не влияет на однородность окраски.

Спектральный состав света, отраженного описанным выше образом от слоя краски, можно характеризовать с помощью спектральных кривых отражения, дающих зависимость отражающей способности от длины волны. Отражающая способность R_λ (коэффициент отражения) определяется отношением интенсивности отраженного луча $I_{r\lambda}$, к интенсивности луча падающего $I_{o\lambda}$

$$R_\lambda = \frac{I_{r\lambda}}{I_{o\lambda}}$$

Величина $O_\lambda = 1 - R_\lambda$ даст величину поглощения, и, аналогично $D_\lambda = \log O_\lambda = \log(1 - R_\lambda)$ будет оптической плотностью отражающего слоя. Спектральные кривые отражения некоторых типичных красок приведены на рис. 13 а, б, в, г, е. Как видно, эти кривые весьма похожи на кривые пропускания аналогично окрашенных стекол, приведенные на рис. 5. Следует, однако, заметить, что красочные слои в той или иной степени отражают все лучи спектра, в то время как прозрачные окрашенные тела некоторые лучи поглощают практически полностью. В силу этого цвета красок, рассматриваемых в отраженном свете, будут всегда менее насыщены, чем слой аналогичной прозрачной краски, рассматриваемой в проходящем свете.

Причиной этого являются те оптические явления рассеяния света в слое краски, о которых мы говорили выше.

С особым случаем селективного рассеяния света мы встречаемся при прохождении света через неоднородную среду, частички которой имеют размеры порядка длины волны видимого света (мутная среда). Различные лучи рассеиваются такими частичками в неодинаковой степени: си-

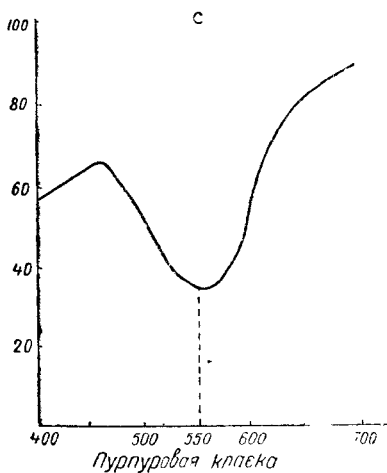
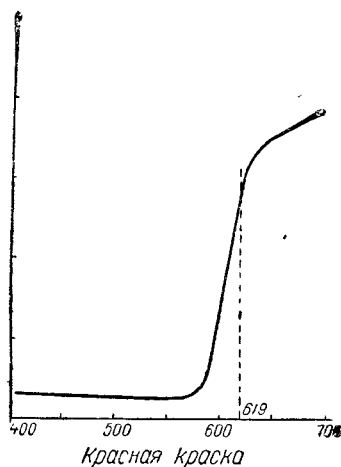
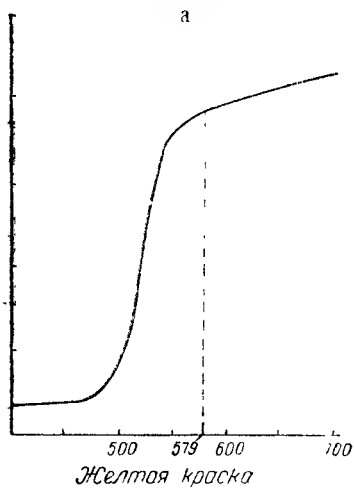
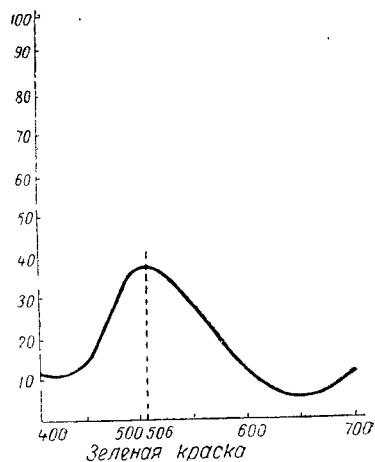
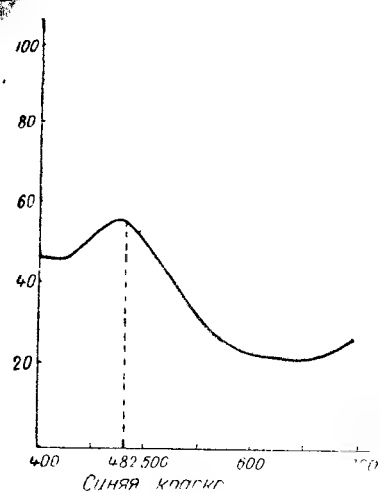


Рис. 13. Кривые
спектрального
отражения некоторых
типичных красок

ние и фиолетовые лучи рассеиваются сильнее, чем желтые и красные, так как отражение происходит только в том случае, если частица достаточно велика по сравнению с длиной волны света. В силу этого при известных размерах частиц свет более коротких волн (фиолетовый, синий) отражается, а более длинных (красный) проходит.

Синяя окраска неба обязана своим возникновением именно этому явлению. Частицы пыли, тумана (и сами молекулы воздуха) рассеивают синие лучи больше, чем красные, почему рассеянный солнечный свет имеет голубую окраску. В силу этих же причин при низком стоянии солнца его лучи имеют явно желто-красную окраску. При очень малых размерах частиц видимый свет вообще не рассеивается, и мы имеем как бы оптически однородную среду (растворы).

13. ТОЛЩИНА ПОГЛОЩАЮЩЕГО СЛОЯ И НАСЫЩЕННОСТЬ ОКРАСКИ

Ширина области пропускания, определяющая насыщенность и яркость цвета, зависит помимо самого свойства окрашенного тела еще и от толщины слоя окрашенной среды, через которую проходит свет.

Как видно из уравнений в § 9, поглощение пропорционально логарифму толщины поглощающего слоя; при возрастании толщины в арифметической прогрессии интенсивность прошедшего света уменьшается в геометрической.

Для света различных длин волн это уменьшение будет происходить с различной скоростью в зависимости от величины знаменателя геометрической прогрессии (коэффициент пропускания) и при том тем скорее, чем эта величина меньше.

Отсюда следует, что чем толще слой поглощающего вещества, тем резче становятся различия в пропускании различных лучей и тем сильнее изменяется спектральная кривая при прохождении света через тело (рис. 14).

В тонких слоях вещества поглощение мало и спектральный состав падающего света почти не изменится. По мере возрастания толщины слоя пропускания отдельных лучей будут уменьшаться, как мы видели, с неодинаковой скоростью, проходящий свет будет все более беднеть сильно поглощаемыми лучами и его спектральное распределение изменится довольно значительно. Если мы освещали нашу поглощаемую среду ахроматическим (белым) светом, то в тонких слоях вещества поглощение будет почти равномерным по всему спектру, и окраска будет почти незаметной.

С увеличением толщины слоя свет наименее поглощаемых длин волн будет получать все большее и большее преобладание. Выходящий свет будет приобретать все более и более выраженную окраску, т. е. цвет будет делаться более насыщенным.

Одновременно с тем, конечно, чем толще слой поглощающего вещества, тем больше света им поглощается и тем слабее интенсивность прошедшего через него света. Таким образом при увеличении толщины поглощающего свет слоя должна возрастать насыщенность и убывать светлота (яркость) света.

Напротив, при расширении полосы пропускания цвета становятся светлее, теряя одновременно своей насыщенности.

14. ПОЛНОЦВЕТНЫЕ И ОПТИМАЛЬНЫЕ ЦВЕТА

Непрерывно изменяя ширину области пропускания (или отражения) несветящегося предмета, можно получить такие цвета, которые, обладая еще достаточно высокой насыщенностью, кажутся нашему глазу очень светлыми. Такие цвета в обиходе называются яркими. Однако во избежание путаницы следует отказаться от употребления термина „яркий“ в таком смысле, сохранив его исключительно для обозначения большой светлоты независимо от насыщенности.

Для таких насыщенных цветов с высокой светлотой в науке употребляется термин „полноцветные“. Полноцветные цвета характеризуются той особенностью, что из всех цветов, возможных для несветящихся предметов, равного цветового тона и насыщенности они обладают наибольшей светлотой, а при равных цветовом тоне и светлоте — наибольшей насыщенностью.

Теория показывает, что для удовлетворения этих требований спектральное отражение (или пропускание) несветящегося тела должно быть полным (коэффициент отражения или пропускания $= 1$) для всего спектрального участка, от одного спектрального до другого ему дополнительного. Все же остальные спектральные, лежащие за пределами этого участка, должны полностью поглощаться. Цветовой

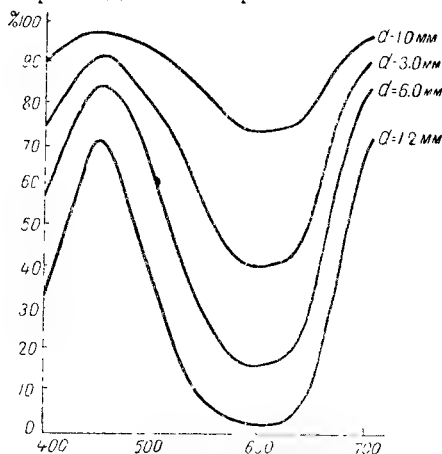


Рис. 14. Изменение спектрального пропускания с толщиной слоя

тон такого полноцветного совпадает с цветовым тоном для одного из спектральных, лежащего где-то в середине полосы пропускания. Так например, полноцветный зеленый должен иметь кривую отражения такого вида (рис. 15).

Как видно из этих условий, полноцветные цвета (точнее полноцветные поверхности) неосуществимы реальными красками.

Однако наиболее „яркие“ краски, применяемые в печати, художниками и т. д., приближаются к полноцветным.

Сужая полосу пропускания полноцветных, мы будем получать, хотя и более насыщенные, но и более темные тона. Наоборот, краски с более широкой областью пропускания дают более светлые, но значительно менее насыщенные (белесоватые) тона. Это происходит потому, что при даль-

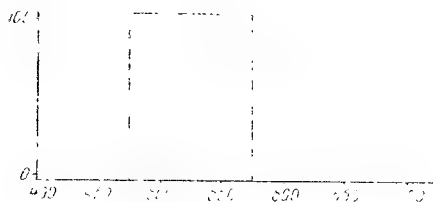


Рис. 15. Спектральное отражение полноцветного синего

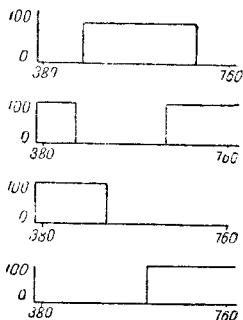


Рис. 16. Спектральное отражение оптимальных цветов

нейшем расширении области пропускания возрастание светлоты делается гораздо менее заметным, чем падение насыщенности, которое вызывается смешением дополнительных цветов, лежащих по концам спектрального интервала полноцветных.

Если не предъявлять требования об определенной ширине спектрального интервала и ограничиться лишь теми условиями, чтобы значения коэффициента пропускания были либо 0 либо 1 и кривая пропускания имела бы в пределах видимого спектра только два скачка (от 0 до 1), то мы будем иметь дело с так называемыми оптимальными цветами (точнее оптимальными поверхностями). Полноцветные представляют собой, очевидно, лишь частный случай оптимальных.

Спектральные кривые для оптимальных поверхностей могут принадлежать только к одному из четырех видов, показанных на рис. 16.

Как видно, и оптимальные цвета не могут быть воспроизведены с помощью реально существующих красителей. Все „идеальные“ краски, наиболее выгодные для цветной

фотографии, принадлежат к числу оптимальных. С ними нам придется еще не раз встречаться в дальнейшем изложении. Всякий оптимальный цвет полностью характеризуется двумя величинами: шириной спектрального выреза S_p , определяющим его насыщенность, и положением середины этого выреза на шкале длин волн спектральных цветов λ_m . Не следует, однако, думать, что эта середина совпадает с так называемой доминирующей длиной волны данного оптимального (см. ниже).

15. ВЛИЯНИЕ ТОЛЩИНЫ СЛОЯ НА ЦВЕТОВОЙ ТОН

Для громадного большинства существующих красок описанные явления усложняются тем, что при изменении концентрации или толщины окрашенного слоя имеет место также более или менее значительное изменение цветового

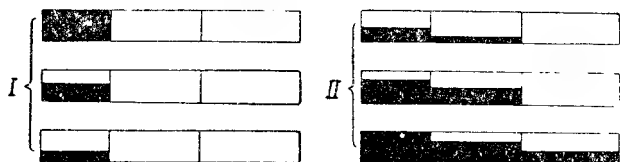


Рис. 17. Изменение цветового тона с толщиной слоя

тона. Это происходит потому, что у красителей, с которыми мы обычно имеем дело, область поглощения при увеличении концентрации не остается в пределах одной и той же спектральной зоны, а распространяется на соседние.

Рис. 17 схематически дает представление об этом. На схеме *I* представлено поведение красителя, у которого область поглощения при увеличении толщины слоя (или концентрации) не меняет своего положения. В этом простейшем случае с возрастанием толщины слоя цветовой тон, очевидно, не меняется, а насыщенность увеличивается. Красители, показывающие поглощение такого типа, должны обладать очень крутыми спектральными кривыми поглощения, что наблюдается весьма редко и то в узких пределах изменения толщины слоя.

Схема *II* описывает более обычный случай поведения красителя с расширяющейся по мере увеличения толщины областью поглощения. Поскольку, как отмечалось уже выше (§ 10), кривые поглощения обычно более круто спадают в красную сторону, чем в синюю, то это расширение полосы поглощения идет неодинаково в различных спектральных областях. Так ведут себя почти все сине-

зеленые красители. Уже при сравнительно малых концентрациях их поглощение распространяется не только на красную, но и на зеленую зону. При возрастании концентрации эта область расширяется еще больше, так что цвет краски делается все более синеватым и темным.

При увеличении концентрации область поглощения расширяется тем быстрее, чем постепеннее переход от поглощения к пропусканию, другими словами, чем более полого спектральная кривая поглощения. Так, желтые краски, обладающие полосой поглощения в синей части, круто обрывающейся в красную сторону, при увеличении концентрации лишь немного расширяют свое поглощение за счет зеленых лучей и делаются несколько более оранжевыми.

Напротив, поглощение сине-зеленых красителей довольно резко отграничено со стороны красных лучей и гораздо более полого со стороны синих, поэтому при расширении зоны поглощения они синеют и т. д.

Полное постоянство цветового тона при изменении концентрации или толщины могло бы наблюдаться только в случае оптимальных цветов с их резко срезанными областями полного пропускания.

16. ЦВЕТОВОЕ УРАВНЕНИЕ

Из установленного на опыте факта, что все цвета можно получить смешением трех основных, непосредственно вытекает возможность характеристики цвета с помощью трех величин. Это можно сделать, установив некоторые произвольные единицы измерения для трех выбранных нами основных стимулов: красного, фиолетового и зеленого. Смесь этих трех стимулов, взятых в надлежащих соотношениях, должна в точности воспроизвести измеряемый цвет. В таком случае его можно полностью охарактеризовать указанием количеств, r , g и b трех основных стимулов в их смеси, имитирующей этот цвет. Символически это можно записать в виде так называемого цветового уравнения:

$$F = rR + gG + bB \quad (1)$$

где F — означает воспроизводимый цвет, R , G и B — основные стимулы и r , g , b — их количества, входящие в смесь (цветовые координаты). Смысл этого уравнения заключается в том, что оно символически выражает эквивалентность (т. е. цветовое тождество) стимула F и смеси основных стимулов R , G , B , взятых в надлежащих количествах.

В случае некоторых очень насыщенных цветов оказывается невозможным в точности воспроизвести цвет по тону и насыщенности с помощью трех стимулов, хотя бы и максимально насыщенных. Однако в этом случае всегда

возможно смешением двух основных цветов воспроизвести тон анализируемого цвета и затем, уменьшив насыщенность этого последнего путем добавления к нему третьего основного цвета, получить полное цветовое тождество в обеих частях уравнения. Оно запишется тогда в таком виде:

$$F + bB = rR + gG$$

В результате опытов был установлен следующий замечательный закон сложения цветов (закон Грассмана): если даны какие-либо четыре стимула: W, X, Y, Z , то всегда можно составить цветовое уравнение между кратными этих стимулов:

$$\text{или} \quad wW = xX + yY + zZ \quad (2)$$

$$wW' + xX = yY + zZ \quad (2')$$

Первое из этих уравнений представляет собой не более как символическую запись того, что данный стимул может быть воспроизведен путем смешения трех основных стимулов, взятых в количествах x, y и z .

Второе уравнение символически записывает, что w единиц некоторого стимула W' , сложенные с x единицами основного стимула X , дают цвет, в точности совпадающий с цветом смеси из y единиц стимула Y и z единиц стимула Z .

Однако с такими символическими уравнениями можно обращаться как с алгебраическими и уравнение переписать в таком виде:

$$wW' = yY + zZ - xX \quad (3)$$

В таком случае мы можем придать уравнению (2) общий смысл, условившись только, что цветные координаты x, y, z могут иметь и отрицательные значения. Уравнение, выражающее W через x, y, z , будет единственным, если цвета x, y, z независимы, т. е. если ни один из них не может быть получен смешением двух других.

17. ИЗМЕРЕНИЕ ЦВЕТА

Самый метод цветовых измерений вытекает непосредственно из закона Грассмана.

Нужно иметь некоторое фотометрическое приспособление, с помощью которого одну половину поля зрения можно было бы освещать испытуемым стимулом, а другую — смесью трех стимулов, выбранных в качестве основных.

Сравнив цвет обеих половин фотометрического поля, мы будем иметь все необходимое для составления цветового уравнения:

$$W = x'X + y'Y + z'Z$$

Коэффициенты цветового уравнения x' , y' , z' , выражающие цвет W через основные цвета (стимулы) x , y , z , вполне характеризуют цвет, коль скоро основные цвета фиксированы. Эти величины носят название координат или компонент цвета W относительно системы основных цветов X , Y , Z . (Здесь имеется полная математическая аналогия с разложением трехмерного вектора по координатным осям, т. е. относительно системы единичных векторов.) Изменению одной только яркости цвета W соответствует пропорциональное изменение всех трех его компонент, поэтому для характеристики одной только цветности (отвлекаясь от яркости) иногда пользуются величинами x , y , z , носящими название трехцветных коэффициентов

$$x = \frac{x'}{x' + y' + z'}; \quad y = \frac{y'}{x' + y' + z'}; \quad z = \frac{z'}{x' + y' + z'}$$

Очевидно, что $x + y + z = 1$, т. е. из трех трехцветных коэффициентов только два могут изменяться независимо.

Дальнейшим, весьма важным следствием закона Грассмана, является то, что при сложении двух стимулов (цветов) соответствующие координаты также складываются алгебраически. Пользуясь этим, можно определить координаты любого сложного света, зная его спектральный состав и цветовые координаты всех входящих в него спектральных.

Математически это выражается так. Пусть некоторое сложное излучение, цвет которого мы обозначим через F , состоит из ряда монохроматических излучений различных длин волн. Обозначая через F_{λ_1} , F_{λ_2} , ..., F_{λ_n} цвета этих монохроматических излучений при интенсивности 1, можно написать цветовое уравнение

$$F = \varrho(\lambda_1) R_{\lambda_1} + \varrho(\lambda_2) F_{\lambda_2} + \dots + \varrho(\lambda_n) F_{\lambda_n} = \sum_{i=1}^n \varrho(\lambda_i) F_{\lambda_i}$$

где $\varrho(\lambda_i)$ — интенсивность отдельных монохроматических излучений в составе рассматриваемого сложного излучения, т. е. его кривая спектрального распределения.

Для каждого из спектральных цветов можно написать цветовое уравнение:

$$\begin{aligned} F_{\lambda_1} &= x'_{\lambda_1} X + y'_{\lambda_1} Y + z'_{\lambda_1} Z \\ \vdots & \\ F_{\lambda_n} &= x'_{\lambda_n} X + y'_{\lambda_n} Y + z'_{\lambda_n} Z \end{aligned}$$

Подставляя выражения спектральных через основные цвета получим:

$$F = X \sum_1^n \varrho(\lambda_n) x'_{\lambda_n} + Y \sum_1^n \varrho(\lambda_n) y'_{\lambda_n} + Z \sum_1^n \varrho(\lambda_n) z'_{\lambda_n}$$

Произведя суммирование для всех бесконечно малых спектральных участков в пределах видимого спектра, получим, переходя к пределу, цветовое уравнение в таком виде:

$$F = X \int_{380}^{760} \rho(\lambda) \bar{x} d\lambda + Y \int_{380}^{760} \rho(\lambda) \bar{y} d\lambda + Z \int_{380}^{760} \rho(\lambda) \cdot \bar{z} d\lambda \quad (4)$$

Здесь символами x , y , z обозначены трехцветные коэффициенты спектральных стимулов. Значения трехцветных координат измеряемого цвета F выражаются интегралами:

$$x' = \int_{380}^{760} \rho(\lambda) \cdot \bar{x} d\lambda; \quad y' = \int_{380}^{760} \rho(\lambda) \cdot \bar{y} d\lambda; \quad z' = \int_{380}^{760} \rho(\lambda) \cdot \bar{z} d\lambda \quad (5)$$

Этим устанавливается связь между определением цвета через цветовые координаты и его спектральным составом, выражаемым функцией $\rho(\lambda)$. Для характеристики цвета какого-нибудь сложного излучения через цветовые координаты необходимо только знать его спектральный состав и величины x , y и z для всех входящих в состав смеси спектральных цветов. Эти значения могут быть определены раз навсегда с максимальной степенью точности. Переход от координат цвета к трехцветным коэффициентам осуществляется обычным путем.

18. КРИВЫЕ СМЕЩЕНИЯ

Выше был описан способ определения цветовых координат путем синтеза искомого цвета из трех основных с помощью трехцветного колориметра. Однако значения цветовых координат, полученные по такому способу разными наблюдателями, будут несколько отличаться друг от друга вследствие неизбежных у разных лиц небольших индивидуальных различий в кривых основных ощущений. Поэтому для международного употребления применяют особую процедуру, исключающую индивидуальные отклонения. Для этого путем очень точных колориметрических измерений с возможно большим числом тщательно отобранных наблюдателей были определены цветовые координаты x , y , z для ряда спектральных цветов. Полученные значения в сочетании с функцией спектрального распределения $\rho(\lambda)$ дают возможность находить цветовые координаты измеряемого цвета с помощью вышеприведенных формул.

Таким образом визуальные колориметрические измерения величин x , y , z должны быть проведены только один раз. Это позволяет применить для их определения

самую совершенную измерительную технику и делает возможным соблюдение всех предосторожностей, необходимых для точных колориметрических определений.

Для получения этих данных необходимо, следовательно, определить для каждого спектрального (точнее, через небольшие промежутки в спектре, например через 10 $m\mu$), их цветовые координаты относительно какой-либо системы основных цветов.

Такие измерения предпринимались неоднократно рядом исследователей: Кенигом и Дитеричи, Райтом и Гилдом, Федоровыми и другими.

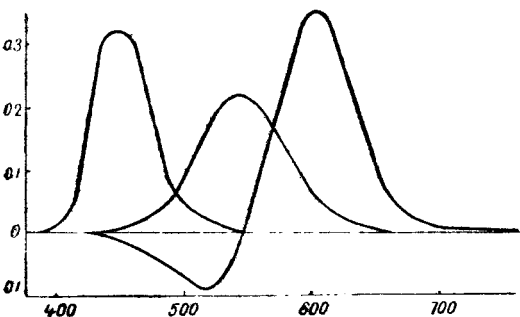


Рис. 18. Кривые смешения по Райту

Наиболее полные исследования были проведены Райтом, и Гилдом в 1928 г., результаты которых и признаются ныне стандартными.

Результаты таких измерений представляются графически в виде так называемых кривых сложения, ординаты кото-

рых пропорциональны коэффициентам цветовых уравнений, связывающих цвета спектра с равномерным распределением энергии с тремя цветами, выбранными в качестве основных или первичных. Кривые сложения по Райту приведены на рис. 18.

Выбор первичных может быть сделан совершенно произвольно, но, разумеется, вид кривых сложения будет различаться для разных первичных. В качестве таковых могут быть взяты сложные цвета, выделенные с помощью светофильтров, как в опытах Гилда, или чистые спектральные, как например у Райта (лучи с длиной волны 650 $m\mu$, 530 $m\mu$ и 460 $m\mu$). Это не создает никаких затруднений, так как результаты, полученные с одним рядом первичных, могут легко быть пересчитаны для другого ряда с помощью такой системы уравнений:

$$\begin{aligned} r' &= k_1 r + k_2 g + k_3 b \\ g' &= k_4 r + k_5 g + k_6 b \\ b' &= k_7 r + k_8 g + k_9 b \end{aligned}$$

Здесь r , g , и b — значения цветовых координат относительно одной системы первичных, r' , g' , и b' — то же для

другой системы и $k_1, k_2, \dots, k_9$ цветовые координаты старой системы первичных относительно новой системы*.

Никакая система реально осуществимых первичных цветов не может воспроизвести полностью все цвета без применения отрицательных количеств хотя бы одного первичного. Это видно, например, на кривых смещения Райта, особенно в спектральной зоне 534—460 $m\mu$ для красного первичного. Это обстоятельство вносит некоторые неудобства в расчеты, и если мы желаем его избежать, то должны выбрать такие первичные, которые лежат вне области реальных цветов, т. е. обладают насыщенностью большей, чем даже спектральные цвета. Конечно, мы не можем производить измерения с такими нереальными цветами, но это не представляет никаких затруднений, так как результаты, полученные при измерениях с фактически реализуемыми цветами (инструментальные основные цвета), легко могут быть пересчитаны на любые, в том числе и на выбранные идеальные цвета, с помощью приведенных формул перехода.

19. МЕЖДУНАРОДНАЯ СИСТЕМА ЦВЕТОВЫХ ИЗМЕРЕНИЙ

Международный осветительный комитет (МОК) в 1931 г. избрал в качестве основных первичных цветов (стимулов) нереальные цвета, обозначаемые обычно через X, Y и Z . Они выбраны так, что все значения x, y, z , вычисленные с их помощью, имеют положительный знак. Связь между стандартными основными цветами x, y, z и тремя реальными спектральными цветами дается цветовыми уравнениями:

$$\begin{aligned} R &= 0,7347 X + 0,2653 Y + 0,0000 Z \\ G &= 0,2738 X + 0,7174 Y + 0,0088 Z \\ B &= 0,1665 X + 0,0089 Y + 0,8246 Z \end{aligned}$$

где R, G и B обозначают соответственно спектральные стимулы с длиной волны в 700 $m\mu$, 546,1 $m\mu$, 435,8 $m\mu$, взятые в таких интенсивностях, чтобы их сумма давала белый цвет.

Хотя, как было уже указано раньше, эти первичные только воображаемы, можно помочь читателю интерпретировать их некоторым образом. Значение X соответствует цвету красновато-пурпурного тона, но более насыщенному, чем любой реальный цвет такого же тона. Значения Y соответствуют зеленому, значительно более насыщенному, чем спектральный с длиной волны в 520 $m\mu$. Наконец Z соответствует синему, который значительно более насыщен, чем равный ему по тону спектральный с длиной волны 477 $m\mu$.

Кривые сложения для этих стимулов приведены на рис. 19.

* Приведенные формулы — обычные формулы векторного анализа для перехода от одной системы координат к другой.

20. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЦВЕТОВЫХ КООРДИНАТ СПЕКТРОФОТОМЕТРИЧЕСКИМ ПУТЕМ

Как мы уже говорили выше, спектральный состав света, отражаемого или пропущенного несамосветящимся телом, зависит от спектрального состава освещающего света.

Функция спектрального распределения света, отраженного или пропущенного несветящимся телом, получается умножением функции спектрального распределения падающего света на функцию (кривую) пропускания или отражения, свойственную данному телу $\varrho(\lambda) = E(\lambda)T(\lambda)$ или $\varrho(\lambda) = E(\lambda) \cdot R(\lambda)$. Подставляя эти выражения в равенство (5) получим:

$$\left. \begin{aligned} x' &= \int_{380}^{760} T(\lambda) \cdot E(\lambda) \cdot x d\lambda & \text{или} & \int_{380}^{760} R(\lambda) \cdot E(\lambda) \cdot x d\lambda \\ y' &= \int_{380}^{760} T(\lambda) \cdot E(\lambda) \cdot y d\lambda & \text{или} & \int_{380}^{760} R(\lambda) \cdot E(\lambda) \cdot y d\lambda \\ z' &= \int_{380}^{760} T(\lambda) \cdot E(\lambda) \cdot z d\lambda & \text{или} & \int_{380}^{760} R(\lambda) \cdot E(\lambda) \cdot z d\lambda \end{aligned} \right\} (6)$$

Таким образом значения цветовых координат будут зависеть от выбора источника освещения, определяющего вид функции $E(\lambda)$.

Желая стандартизировать цветовые определения несветящихся предметов, необходимо условиться относительно выбора источника света с определенным и постоянным

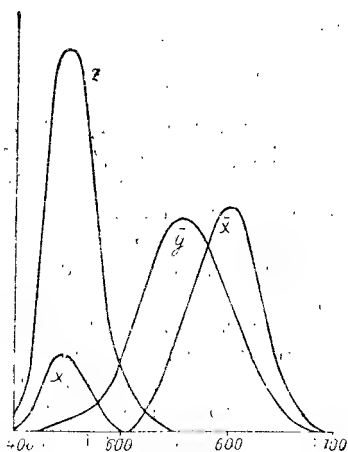


Рис. 19. Кривые смешения в системе МОК

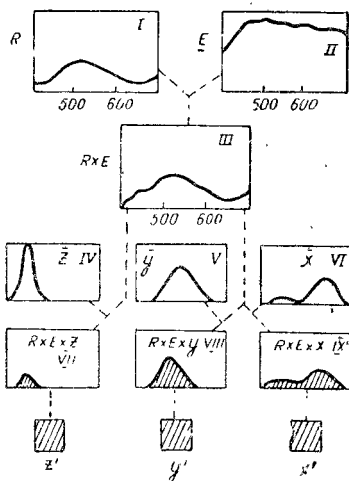


Рис. 20. Определение цветовых координат из спектрофотометрических данных

спектральным составом. Естественнее всего избрать для этого белый дневной свет. К сожалению, естественный дневной свет крайне непостоянен по своему спектральному составу, который зависит от высоты солнца над горизонтом, состояния атмосферы и т. п. В силу этого Международный конгресс по осветительной технике установил некоторый стандартный источник, наиболее приближающийся к среднему дневному свету. Фактически этот конгресс установил два таких нормальных источника: так называемый „источник В“, соответствующий желтоватым фазам дневного света, и „источник С“, соответствующий голубоватым фазам. Оба эти источника получаются из комбинации газополной лампы накаливания с цветовой температурой 2848° К (так называемый „источник А“) со светофильтрами, повышающими ее цветовую температуру приблизительно до 4800° К (источник В) или до 6500° К (источник С).

Распределение энергии в спектре этих источников, т. е. функция $E(\lambda)$, известно с большой точностью и, таким образом, применяя для измерений один из этих нормальных источников, мы можем стандартизировать свои цветовые измерения.

Интегралы уравнений (6) графически могут быть, очевидно, интерпретированы как площадь, заключенная между осью абсцисс, ординатами для 380 и $760\text{ м}\mu$ и кривой, представляющей подынтегральную функцию. Для практических целей вполне возможно заменить интегрирование суммированием и представить, следовательно, уравнения (6) в виде:

$$\begin{aligned} x' &= \sum_{380}^{760} T(\lambda) \cdot E(\lambda) \cdot x \Delta\lambda & \text{или} & \sum_{380}^{760} R(\lambda) \cdot E(\lambda) \cdot x \Delta\lambda \\ y' &= \sum_{380}^{760} T(\lambda) \cdot E(\lambda) \cdot y \Delta\lambda & \text{или} & \sum_{380}^{760} R(\lambda) \cdot E(\lambda) \cdot y \Delta\lambda \\ z' &= \sum_{380}^{760} T(\lambda) \cdot E(\lambda) \cdot z \Delta\lambda & \text{или} & \sum_{380}^{760} R(\lambda) \cdot E(\lambda) \cdot z \Delta\lambda \end{aligned}$$

где значения суммируемой функции берутся через равные интервалы $\Delta\lambda$ в 5—10 $\text{м}\mu$, смотря по требуемой точности. Для облегчения расчетов составлены специальные таблицы, дающие готовые значения $E(\lambda) \cdot x$, $E(\lambda) \cdot y$ и $E(\lambda) \cdot z$ для осветителей А, В, и С через интервалы в 1—5 $\text{м}\mu$. Вычисление сводится лишь к умножению этих величин на значения $T(\lambda)$ или $R(\lambda)$ для соответствующих длин волн и сложению найденных цифр.

Схематически такой способ расчета показан на рис. 20. Кривая I представляет собой спектральную кривую отра-

жения некоторой зеленой краски. На кривой *II* показано распределение энергии в спектре стандартного источника света. Кривая *III*, ординаты которой получены путем перемножения соответствующих ординат *I* и *II*, дает распределение энергии в спектре света стандартного источника после отражения его от исследуемой краски. Кривые *IV*, *V* и *VI* представляют собой стандартные кривые смещения для трех основных стимулов МОК. Помножив ординаты этих кривых на соответствующие ординаты кривой *III*, получим кривые *VII*, *VIII*, *IX*, которые изображают относительную интенсивность каждого из основных стимулов в свете, отраженном от исследуемой краски. Площади, заключенные под этими кривыми, дают искомые значения трехцветных координат.

Более быстрый и удобный метод нахождения этих величин из спектрофотометрических данных был предложен Харди и ныне широко применяется. Этот способ называется способом избранных ординат и сводится к суммированию значений $T(\lambda)$ или $R(\lambda)$ для ряда определенным образом выбранных длин волн.

21. ДИАГРАММА ЦВЕТНОСТИ

Графическое представление цветов требовало бы трехмерной координатной системы, что не всегда удобно. Цветность может быть выражена путем нанесения коэффициентов x и y на обычную двумерную систему декартовых координат. Такой график называется диаграммой цветности (рис. 21). Сплошной линией на рисунке показано расположение чистых спектральных цветов, нанесенное на основании кривых смещения МОК.

Система прямоугольных координат является в настоящее время наиболее употребительной для выражения результатов цветных измерений. Раньше для этого чаще применяли равносторонний треугольник (так называемый цветовой треугольник или треугольник Максвелла), вершины которого соответствуют содержанию лишь одного первичного в количестве, равном единице. Трехцветные коэффициенты каждого цвета, соответствующего определенной точке внутри треугольника, определяются длиной перпендикуляров, опущенных от данной точки на три стороны треугольника. Из свойств равностороннего треугольника следует, что сумма перпендикуляров для всех точек внутри треугольника постоянна, что и требуется для трехцветных коэффициентов. Такой треугольник представлен на рис. 22*.

* Этот плоский график представляет собой перспективную проекцию полной пространственной (векторной) интерпретации многообразия цветов.

Трехцветные коэффициенты определяют некоторую точку („цветовая точка“) на диаграмме цветности. Так, для нормальных осветителей значения цветовых координат, определяющих их цветовые точки („белая точка“), следующие:

осветитель А . . .	$x = 0,448$;	$y = 0,407$
осветитель В . . .	$x = 0,3485$;	$y = 0,352$
осветитель С . . .	$x = 0,310$;	$y = 0,316$

Диаграмма цветности обладает одним свойством, которое делает ее незаменимой для представления результатов оптического смешения двух или более стимулов. На рис. 21 некоторый красный представлен точкой R , некото-

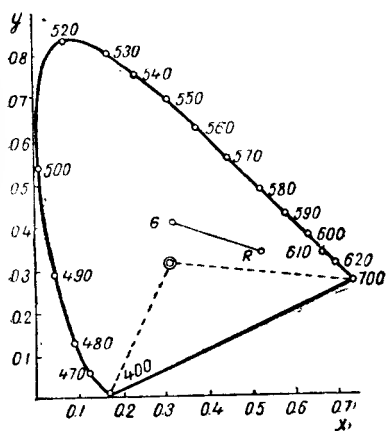


Рис. 21. Диаграмма цветности

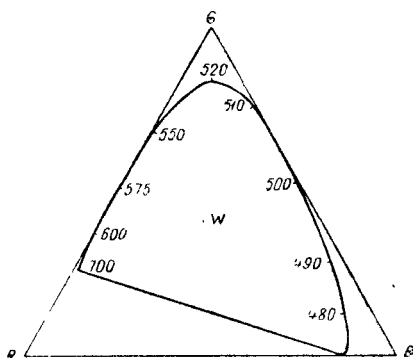


Рис. 22. Цветовой треугольник Максвелла

рый зеленый — точкой G . Независимо от пропорций, в которых смешиваются эти два стимула, результирующий цвет будет всегда лежать на прямой, соединяющей R с G . Точное положение каждой точки, изображающей ту или иную смесь, может быть легко рассчитано по правилам, которые будут изложены в главе III.

В силу такого свойства диаграммы цветности все реальные цвета должны лежать внутри плоскости, ограниченной кривой спектральных цветов.

Легко видеть, что на концах прямой, проведенной через „белую точку“, будут лежать взаимно дополнительные цвета, причем количества их, необходимые для составления белого цвета, будут пропорциональны длинам отрезков от белой до соответствующей цветной точки.

22. ВЫРАЖЕНИЕ ЦВЕТОВОГО ТОНА И НАСЫЩЕННОСТИ С ПОМОЩЬЮ ТРЕХЦВЕТНЫХ КОЭФИЦИЕНТОВ

Рассмотрение диаграммы цветности дает нам возможность интерпретировать любой реальный цвет еще и другим способом. В самом деле все реальные цвета, лежащие внутри кривой спектральных цветов, но вне пунктирных линий на рис. 23, могут рассматриваться как смесь „белого“ осветителя с некоторым спектральным, лежащим на продолжении линии, соединяющей белую точку с цветом.

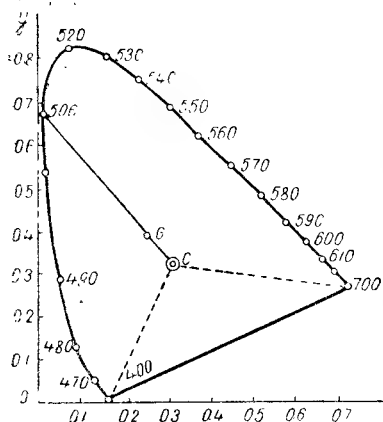


Рис. 23. Нахождение цветового тона и насыщенности

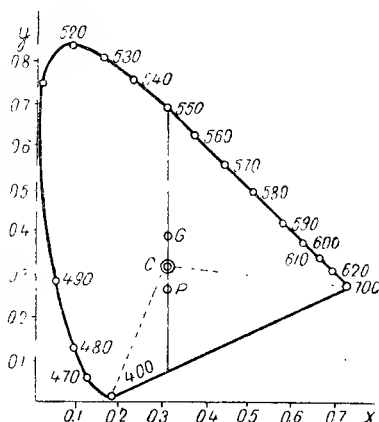


Рис. 24 Нахождение цветового тона для пурпурных цветов

вой точкой данного стимула. Так например, зеленый стимул, определяющийся точкой G , можно рассматривать как смесь белого C с чистым спектральным с длиной волны 506 $m\mu$ (рис. 23).

Рассматривая цвета с такой точки зрения, легко видеть, что окраска цвета, т. е. его цветовой тон, будет характеризоваться длиной волны того спектрального, который в смеси с белым в точности воспроизводит исследуемый цвет. Эта длина волны называется доминирующей длиной волны и в дальнейшем будет сокращенно обозначаться как ДДВ. Она, таким образом, служит количественной характеристикой цветового тона.

При таком способе характеристики цветового тона встречаются затруднения в определении ДДВ для пурпурных тонов, которым, как известно, не соответствует никакой спектральный. В таком случае прибегают к искусственному приему: соединив данную цветовую точку P с белой точкой C , продолжают эту линию за белую точку до пересечения с линией спектральных (рис. 24). Длина

волны этого спектрального, например 550 $m\mu$, принимается условно за ДДВ данного пурпурного и для отличия либо ставится в скобках, либо снабжается знаком минус.

Легко видеть, что эта ДДВ является не чем иным, как длиной волны спектрального дополнительного к данному пурпурному.

В свете развитых нами представлений насыщенность цвета будет, очевидно, определяться долей чистого спектрального, входящего в его состав. Численное выражение насыщенности — чистоту цвета — можно получить, пользуясь нанесенными на графике линиями равной чистоты.

Таким образом мы располагаем двумя количественными способами выражения цвета: системой цветовых координат, которая является однозначным определением цвета и характеристикой цвета через ДДВ, и чистоту, характеризующими только цветность. Система цветовых координат незаменима при всякого рода расчетах, связанных со смешением цветов, вопросами передачи цвета и т. п. С другой стороны, выражение цвета через ДДВ и чистоту более доступно непосредственному представлению, так как ассоциирует цвет с хорошо известными спектральными цветами.

Из трех качеств цвета, о которых речь шла выше, нам осталось еще количественно выразить только светлоту. При пользовании системой основных стимулов МОК это чрезвычайно упрощается, ибо при построении кривых смешения (рис. 19) функция y была выбрана таким образом, что она полностью совпадает со стандартной кривой видности. Так как ординаты кривой видности пропорциональны светлоте соответствующего цвета, то значения координаты y' , пропорциональные значениям соответствующей ординаты кривой видности, дают непосредственно значение светлоты по отношению к светлоте идеально белого тела, которая принимается за 100%.

Если два окрашенных предмета дают при измерении одинаковые координаты, то их цвет при том же освещителе, каким они были освещены при измерении, должен быть одинаковым.

При других условиях освещения цвета этих предметов могут быть различными. Так например, два желтых предмета, один из которых отражает только желтые спектральные лучи, а другой — соответствующим образом подобранную смесь зеленых и красных лучей, могут быть одинаковы по цвету при освещении белым светом и быть совершенно различными при освещении монохроматическим желтым светом, скажем, от натриевой лампы.

Сравниваемые нами предметы могут быть одинаковыми по цвету при любом типе освещения и для всех наблюда-

телей только при полном совпадении их кривых спектрального отражения (или пропускания).

Следует сказать несколько слов еще об одной системе цветовых характеристик, предложенной Решем и оказывающейся очень полезной в ряде специальных случаев. Реш исходит из того, что для каждого реального цвета (имея в виду цвета несветящихся предметов) можно подобрать такой оптимальный цвет, который бы при данном освещении совпадал с измеряемым образцом как по тону, так и по насыщенности. Так как оптимальные цвета являются идеальными и на практике недостижимыми, то для получения тождества по светлоте мы должны в той или иной степени ослабить интенсивность такого оптимального, сделав ординаты его спектральной кривой равными не 0 и 1, а 0 и a (где $a < 1$). Как мы уже видели, оптимальный цвет полностью характеризуется шириной выреза Sp и длиной волны λ_m , соответствующей его середине. Добавив к этому еще величину a , получим триаду величин Sp , λ_m и a , характеризующую по Решу любой цвет.

Возможен простой переход от системы цветовых координат к системе Реша и обратно, для чего служат специальные таблицы, приведенные в уже упоминаемом труде проф. Федорова.

Следует иметь в виду, что координаты Реша характеризуют положение данного цвета по отношению других цветов, возможных в условиях определенного освещения, а потому связь между координатами Реша и трехцветными для различных освещений будет различной. Таблицы, приведенные в книге проф. Федорова, рассчитаны на среднее дневное освещение.

ГЛАВА II

ВОСПРИЯТИЕ ЦВЕТА

1. ВОСПРИНИМАЮЩИЙ АППАРАТ ГЛАЗА

Цветовое ощущение, возникающее в нашем глазу при действии на него света, определяется двумя факторами: спектральным составом света и свойствами глаза. Свойства глаза как цветоощущающего аппарата не остаются все время неизменными, а зависят от его состояния в момент наблюдения.

Таким образом цветовое ощущение может быть различным даже при одинаковом спектральном составе света, если состояние глаза было неодинаковым.

В предыдущей главе мы рассмотрели связь между спектральным составом света и цветовым ощущением, учитывая, что наблюдающий глаз находится в некотором нормальном постоянном состоянии. В этой главе мы рассмотрим, какие изменения в цветовом ощущении возникают при изменении состояния глаза.

Для этого нам необходимо познакомиться в самых общих чертах с устройством нашего органа зрения.

Схематический разрез глазного яблока показан на рис. 25. Снаружи оно одето оболочкой (белок глаза), которая спереди переходит в прозрачную роговую оболочку (роговица) 1. Позади роговицы находится радужная оболочка 2.

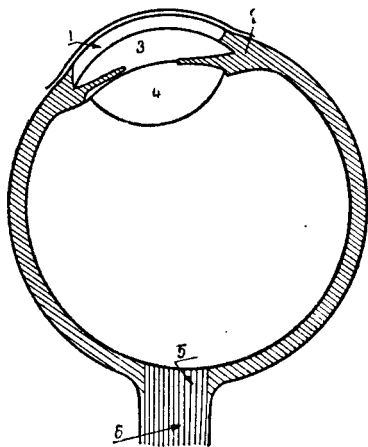


Рис. 25. Схематический разрез глаза

В радужной оболочке имеется круглое отверстие, зрачок 3, через который свет поступает внутрь глаза. За зрачком находится двояковыпуклая линза, хрусталик 4; назначение хрусталика отбрасывать подобно объективу фотоаппарата, действительное изображение предметов на сетчатую оболочку 5 (сетчатка, ретина). Последняя состоит из разветвлений зрительного нерва 6 и является собственно цветом и светоощущающим аппаратом глаза. Вернее, таковым являются окончания зрительного нерва, имеющие особый вид. На рис. 26, представляющем разрез сетчатой оболочки, видны эти окончания в виде более толстых образований — так называемых колбочек, и более тонких — палочек.

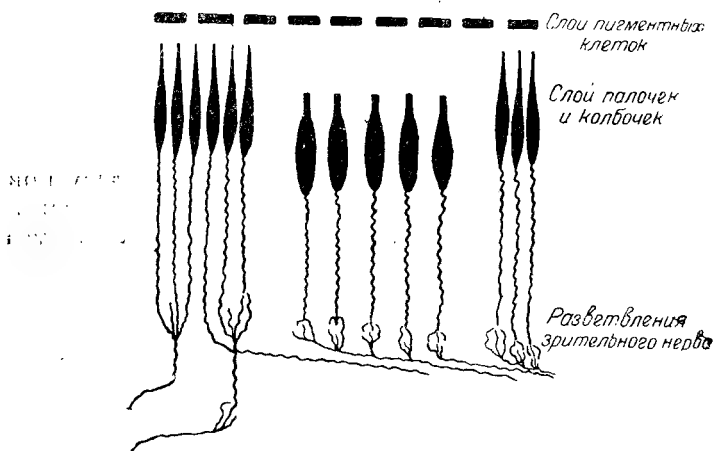


Рис. 26. Схематический разрез сетчатки

Зрительный процесс связан с особыми химическими изменениями, происходящими в палочках и колбочках под влиянием света. В первых содержится особое вещество, так называемый зрительный пурпур или родопсин, выцветающий на свету и снова регенерирующийся в темноте. Колбочки также содержат светочувствительное вещество — иодопсин.

Физиологическая функция палочек и колбочек различна. Колбочки — органы трехцветного зрения — способны различать все три качества цвета, в то время как палочки являются органами ахроматического зрения и неспособны различать цвета, но гораздо более чувствительны к свету, чем колбочки.

Палочки и колбочки неравномерно распределены по сетчатке: центральная часть ее, так называемое желтое пятно, совершенно свободна от палочек и содержит лишь одни колбочки. Напротив, к периферии глаза колбочки быстро убывают в числе, и их место заменяют палочки.

2. ЯВЛЕНИЯ АДАПТАЦИИ

Состояние глаза определяется чувствительностью к свету палочек и колбочек. Эта чувствительность может меняться в очень значительных пределах в зависимости от внешних условий.

Всякому хорошо известно, что, войдя в комнату с очень яркого света (например с улицы, ярко освещенной солнцем), мы первое время очень плохо различаем предметы и они кажутся нам более темными, чем в нормальных условиях. Наоборот, человек, выйдя из темноты на свет, чувствует себя как бы ослепленным и с трудом различает окружающее. Но постепенно глаз приспособливается к изменившимся условиям освещения и свет уже не кажется ему слепяще ярким.

Общеизвестно также, что, например, в первую минуту пребывания в темной фотографической комнате мы почти ничего не видим, и лишь постепенно наш глаз привыкает к темноте и начинает все лучше и лучше различать предметы.

Таким образом глаз обладает способностью приспособливаться к существующим условиям освещения. Эта способность носит название адаптации.

Явление световой адаптации объясняется тем, что чувствительные окончания сетчатки (палочки и колбочки) способны в очень широких пределах менять свою чувствительность к свету в зависимости от силы освещения. При очень сильном свете чувствительность сетчатки понижена, — глаз, как говорят, адаптирован к свету. При переходе к менее сильному освещению чувствительность глаза постепенно повышается, — глаз адаптируется на темноту. Чувствительность адаптированного к свету глаза при переходе к темноте увеличивается. Благодаря адаптации глаз может хорошо видеть как на очень ярком, так и на сравнительно слабом свете.

Наличие двух родов воспринимающих свет элементов — палочек и колбочек — еще расширяет границы приспособляемости глаза к разным условиям освещения. При более или менее ярком свете работают исключительно колбочки, а палочки находятся в состоянии ослепления и не функционируют.

Так как колбочки способны ощущать цвета, то в этих условиях мы хорошо различаем цветные оттенки.

При слабом освещении палочки постепенно приобретают нормальную чувствительность и заменяют колбочки, которые уже недостаточно чувствительны к такому слабому свету. Поскольку палочки не в состоянии различать цвета, видимость цветовых оттенков при слабом освещении сильно падает (сумеречное зрение).

Способностью к адаптации обладают также и отдельные места сетчатки, а не только весь глаз в целом. Если мы будем смотреть в течение 15—20 сек. на черный кружок на ярком белом фоне, а затем быстро переведем глаз на белую поверхность, то первое время увидим в середине более светлый кружок, соответствующий рассматриваемому ранее черному.

Это явление объясняется тем, что те места сетчатки, на которых проецировалось изображение черного кружка, адаптировались к темноте и приобрели повышенную светочувствительность по сравнению с остальными частями, адаптированными к свету белого фона. При рассматривании белой поверхности свет одной и той же силы вызовет более сильное ощущение в тех местах сетчатки, чувствительность которых повышена в силу темновой адаптации.

Таким образом явления адаптации имеют место не только при изменении условий освещения, но и когда глаз рассматривал ранее какой-нибудь предмет.

3. ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНЫЙ И ОДНОВРЕМЕННЫЙ КОНТРАСТ

Явления адаптации имеют место не только при воздействии на глаз ахроматических стимулов, но наблюдаются и для цветowych.

Нервные центры, с которыми связаны цветовые ощущения согласно трехцветной теории зрения, также способны к явлениям адаптации. Поэтому ощущение, вызываемое каким-нибудь цветовым стимулом, зависит еще и от того, каков был предыдущий стимул.

Если, например, смотреть в течение 30 секунд на яркий красный кружок, а затем перевести взгляд на белое поле, то мы в первые секунды весьма отчетливо увидим кружок голубовато-зеленого цвета, т. е. цвета, дополнительного к цвету красного кружка.

Объяснение этому явлению очень просто дается с точки зрения трехцветной теории. При продолжительном рассматривании красного кружка красноощущающие элементы сетчатки адаптируются и сильно понижают свою чувствительность. Поэтому при рассматривании после этого белой поверхности раздражение красных центров в этом месте сетчатки значительно отстает от раздражения синего и зеленого центров. Результатом этого частичного выключения красных центров мы и получим цветовое ощущение за счет раздражения главным образом синих и зеленых, т. е. окраска будет дополнительной к первоначально рассматриваемому цвету.

Такого рода явления носят название последовательного контраста. С ними приходится считаться не только при рассматривании белой поверхности, как это было в наших примерах, но и для любого другого цвета. Так, если адаптировать наш глаз описанным выше образом к красному, то рассматриваемая после этого красная поверхность будет казаться гораздо менее насыщенной, чем это казалось бы неадаптированному глазу. Наоборот, при взгляде на зеленую поверхность мы получим впечатление сильно насыщенного зеленого цвета. И в том и в другом случае мы имеем дело с явлениями последовательного контраста, вызванного понижением чувствительности красных центров в результате их адаптации к красному цвету.

Контрастные явления тем более заметны, чем больше яркость и насыщенность адаптирующего цвета. С другой стороны, влияние контраста по-разному сказывается на различных цветах. Очень темные цвета почти не меняются под влиянием контраста, в то время как на мало насыщенные светлые цвета он может оказывать весьма сильное влияние.

Такие же контрастные явления наблюдаются не только при последовательном восприятии цветов (последовательный контраст), но и при одновременном рассматривании двух цветов (одновременный контраст). С подобного рода явлениями мы встречаемся, например, рассматривая какой-нибудь цвет на цветном же фоне.

Небольшой цветной участок, находящийся на цветном фоне, меняет свой оттенок в сторону, дополнительную к цвету фона. Так, желтые цвета на красном фоне кажутся зеленоватыми, на зеленом — оранжеватыми и на синем — более насыщенного желтого цвета. Все эти явления делаются совершенно понятными с точки зрения рассмотренных выше явлений цветовой адаптации.

Явления одновременного контраста очень легко наблюдаются и на ахроматических тонах: серое поле на черном фоне кажется более светлым, а на белом — более темным.

Как общее правило, при цветном контрасте цвет поля сдвигается в сторону цвета, наиболее отличного от цвета фона, т. е. в сторону дополнительного к нему. Однако в целом ряде случаев цвета, возникающие в результате контраста (контрастные цвета), бывают не вполне дополнительными, а несколько уклоняются в красную сторону. Так например, цвет контрастный к синему будет не желтый, а оранжевый; к фиолетовому — не дополнительный желто-зеленый, а чисто желтый и т. п.

Заметность контрастного действия зависит от многих условий, и контрастные явления особенно сильно выражены в том случае, когда контрастирующие цвета непосредственно соприкасаются друг с другом. Поэтому контраст

всего сильнее наблюдается у границ соприкасающихся цветных полей (краевой контраст).

Кроме того эффект контраста зависит также от яркости и насыщенности контрастирующих цветов таким же образом, как это было описано для последовательного контраста.

С явлениями контраста мы сталкиваемся во многих случаях. При рассматривании окружающих предметов наш взор постоянно перебегают с предмета, обладающего одним цветом, на предмет с другой цветностью. В силу этого состояние глаза вследствие адаптации постоянно меняется; и эти изменения неизбежно будут влиять на окраску рассматриваемых предметов.

Следует иметь в виду, что эта степень изменения адаптации глаза зависит не только от окраски отдельных предметов, но и от освещения и других факторов. В силу этого контрастные явления, наблюдаемые на цветной репродукции, даже если она идеально передает цвета оригинала, могут быть несколько другими. Нужно иметь в виду еще и то обстоятельство, что в виду уменьшенного по сравнению с оригиналом размера репродукции, на ней сильнее сказываются явления пограничного контраста.

Все эти причины не могут не влиять на оценку качества репродукции, о чем речь будет идти подробнее в главе XII.

4. БЕЛЫЙ СВЕТ

Глаз не может оценивать яркость света, если он не имеет объекта для сравнения, а способен лишь к относительной оценке яркостей. Поэтому ахроматический предмет кажется нам белым, если только он является самым светлым из окружающих цветов, независимо от его действительной яркости. Кусок угля, освещенный солнцем, отражает больше света, чем лист белой бумаги в комнате. Тем не менее наш глаз, адаптируясь к комнатному освещению, оценивает цвет бумаги как белый, поскольку бумага оказывается светлее всех других предметов при этом же освещении. Источник света всегда светлее окружающих его предметов и потому, если он бесцветен, он всегда кажется белым, а не серым, какой бы малой интенсивностью он ни обладал.

С такого же рода явлениями мы встречаемся и при определении небольших цветовых различий в освещении.

Глаз обладает способностью так легко адаптироваться почти ко всякому освещению, не слишком отличающемуся по своему составу от дневного белого цвета, что оно по прошествии небольшого времени начинает казаться бесцветным.

Свет электрической лампочки имеет ясно выраженный желтый оттенок при сравнении его с дневным светом. Однако после кратковременного пребывания в помещении, освещенном только электрическими лампочками, мы почти перестаем распознавать его желтоватую окраску.

В зависимости от состояния атмосферы, облачности и т. д. нормальный дневной свет обнаруживает довольно значительные колебания в своем спектральном составе, а следовательно и в окраске. Однако эти отклонения остаются для нас незаметными благодаря отсутствию объекта для сравнения. Еще большие изменения (в сторону преобладания красных лучей) могут иметь место внутри помещений из-за отражения света от коричневой мебели, пола и т. п. предметов. И эти изменения также остаются незамеченными в силу тех же причин.

Как мы видим, изменение спектрального состава освещения, которое неизбежно влечет за собой изменения спектрального состава света, отраженного от предмета, не всегда вызывает ощущение изменения цвета. В силу адаптации глаз изменяет свою чувствительность таким образом, что стремится скомпенсировать изменение спектрального состава освещения.

Однако такого рода компенсация происходит далеко не всегда и не для всех объектов. В какой мере это происходит, зависит для каждого данного случая от кривых спектрального состава освещения и спектрального отражения красок. При источниках света, не слишком отклоняющихся от белого, описанные явления выражаются чаще всего в обеднении гаммы одних тонов и преобладании других. Например, при электрическом освещении почти совершенно пропадают насыщенные оттенки синего и фиолетового и, наоборот, сильно выигрывают (по сравнению с дневным светом) красные цвета.

5. ВЛИЯНИЕ ОСВЕЩЕНИЯ НА ЦВЕТНОСТЬ. ИЛЛЮЗИЯ ОСВЕЩЕНИЯ

Адаптация глаза к свету или к темноте влечет за собой не только изменения кажущейся светлоты предмета, но и вызывает изменения в их цветности. В значительной степени это связано с двойственным характером светочувствительного механизма нашего глаза, о котором мы уже неоднократно упоминали.

Как мы знаем, при нормальных условиях освещения в нашем глазу функционирует аппарат колбочек. Относительная светлота различных цветов в этом случае определяется кривой видности, о которой мы уже говорили в главе I. Максимум этой кривой лежит в области желто-зеленых

лучей, которые, следовательно, в этих условиях обладают наибольшей светлотой.

При слабом освещении колбочковый аппарат зрительного восприятия уступает свое место палочковому. Кривая видности в случае палочкового зрения расположена иначе, чем для колбочкового, а именно смещена в синюю часть (рис. 27). В результате этого при слабом освещении относительная светлота цветов будет уже другой,— максимум видности переносится в сине-зеленую часть и в силу этого

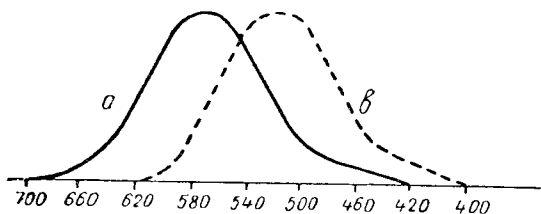


Рис. 27. Эффект Пуркинье

а—нормальная кривая видности (колбочковое зрение);
б „сумеречная“ кривая видности (палочковое зрение)

в цветах окружающих предметов начинают преобладать синие и сине-зеленые (так называемые „холодные“) тона. Это явление, свойственное сумеречному зрению, носит название эффекта Пуркинье.

При очень ярком освещении также наступают некоторые изменения в цветности, хотя и не столь резко выраженные. Для большинства цветов при этом наблюдается сдвиг цветового тона в сторону желтого цвета наряду с довольно значительным понижением насыщенности (белесоватостью).

Мы настолько привыкли к таким изменениям цветности, что бессознательно ассоциируем их с соответствующим освещением, даже если последнее в действительности остается неизменным. С этим явлением мы постоянно встречаемся в живописи. Желая создать в картине иллюзию сумеречного освещения, художник всегда прибегает к использованию холодной гаммы цветов с пониженной светлотой, т. е. воспроизводит те изменения цветности, которые наблюдаются при слабом освещении. Трансформированные таким образом цвета знакомых нам предметов невольно воспринимаются как результат сумеречного освещения.

Если такая картина содержит предметы, окраска которых не была изменена художником в соответствующем направлении, то они, резко выделяясь из общего колорита картины, производят впечатление самосветящихся.

Хорошим примером может служить, например, известная картина Куинджи „Украинская ночь“. Общий синева-зеленый колорит картины при низкой светлоте красок и отсутствии деталей в тенях вполне создает иллюзию лунного освещения, в то время как желтый диск луны, резко

контрастирующий с общей световой гаммой, кажется ослепительно сияющим.

Аналогичным же путем, изменяя колорит картины в сторону желтоватых, малонасыщенных, но очень светлых тонов при соответствующем смягчении объемности, художник вызывает у нас иллюзию ослепительного солнечного света, еще более подчеркиваемого легким пурпурным оттенком теней (см. например, Манэ „Руанский собор“ в Музее нового западного искусства в Москве).

Создание таких эффектов в картине возможно только при намеренной и точно рассчитанной трансформации цветовых оттенков, которая вызывается художником. Механические способы цветной репродукции, в частности цветная фотография, в силу именно своей механичности почти лишены возможности такой трансформации. Этот вопрос будет специально рассмотрен далее (глава XII).

6. ВОСПРИЯТИЕ ЦВЕТОВЫХ РАЗЛИЧИЙ. ЗАКОН ВЕБЕРА-ФЕХНЕРА

Система колориметрических характеристик, изложенная в главе I, позволяя построить стройную номенклатуру цветов, не дает, однако, возможности выразить степень различия между различными цветами, воспринимаемыми визуально. Между тем вопрос о восприятии различий между цветами имеет существеннейшее значение и для интересующей нас проблемы цветной репродукции. В этом случае мы должны в первую очередь установить порог различимости для основных колориметрических величин, т. е. установить те минимальные изменения цветового тона, насыщенности и светлоты, которые еще можно заметить глазом. Очевидно, что при задаче воспроизведения цвета, которая будет обсуждена в главе III, мы вправе требовать, чтобы цветовые характеристики нашей репродукции отличались от соответствующих величин оригинала не более чем на упомянутые пороговые значения.

Проблема установления закономерностей, управляющих различием цветовых оттенков, принадлежит к числу труднейших и наименее разработанных отделов колориметрии, составляя часть так называемой высшей метрики цвета.

Наилучше изученным является вопрос о восприятии различий в яркости (светлоте) в зависимости от силы света. Эта зависимость может быть сформулирована математически в виде так называемого закона Вебера-Фехнера.

Суть этого закона сводится к тому, что глаз оценивает как различие по яркости не абсолютные, а относительные изменения интенсивности света. Математически это можно записать так:

$$\Delta B = C \frac{\Delta I}{I} \quad (1)$$

где ΔB — различие в яркости, соответствующее увеличению интенсивности I на величину ΔI ; C — коэффициент пропорциональности.

Следовательно одинаковые различия в яркости вызваны одинаковыми относительными изменениями интенсивности. Если эти изменения настолько малы, что их можно считать бесконечно малыми, то мы можем, записав уравнение (1) в дифференциальной форме, проинтегрировать его:

$$B = C \int \frac{dI}{I} = C \cdot \log I + C' \quad (2)$$

что и дает математическую формулировку закона Вебера-Фехнера.

Ощущение яркости возрастает пропорционально логарифму интенсивности света. Отсюда следует, что яркости возрастают в арифметической прогрессии, когда соответствующие интенсивности света увеличиваются в геометрической.

При сравнении двух объектов различной освещенности величина различия в их яркостях будет, очевидно, пропорциональна логарифму отношения освещенностей, т. е.

$$\Delta B = C \cdot \log \frac{I_1}{I_2} \quad (3)$$

Если это отношение ниже известного предела, то глаз уже не воспринимает различия в яркости этих объектов. Эта предельная величина носит обычно название предела различаемости. В нарушение закона Вебера-Фехнера при больших колебаниях яркости света наблюдается некоторая (порой даже значительная) зависимость предела различаемости от яркости. Наименьшей величины он достигает для больших, хорошо и равномерно освещенных поверхностей (например, легкие облака). Малейшее разнообразие в сравниваемых поверхностях влечет за собой значительное возрастание порога различаемости и для объектов со множеством деталей (например, листва, кирпичная стена и т. п.) достигает даже при наиболее благоприятных условиях освещения до 25—30%.

Для черно-белого фотографического отпечатка средняя величина порога различаемости составляет по Гольдбергу около 15%, колеблясь от 5% для ярких светов до 25% для теней. Таким образом при визуальном сравнении двух отпечатков различной силы мы улавливаем их различие, если оно оказывается не меньшим, чем 15—20%. Как мы увидим далее (глава VII), такая точность оценки оказывается далеко не достаточной для цветной фотографии.

7. ВОСПРИЯТИЕ РАЗЛИЧИЙ ПО ЦВЕТОВОМУ ТОНУ И НАСЫЩЕННОСТИ

Закон Вебера-Фехнера позволяет установить весьма простую и точную математическую зависимость между изменением интенсивности света и вызванными ими различиями в светлоте (яркости). Однако для остальных двух колориметрических характеристик: цветового тона и насыщенности таких соотношений установить не удастся.

Характеризуя цветовой тон с помощью ДДВ мы, однако, не можем установить никакого закономерного соотноше-

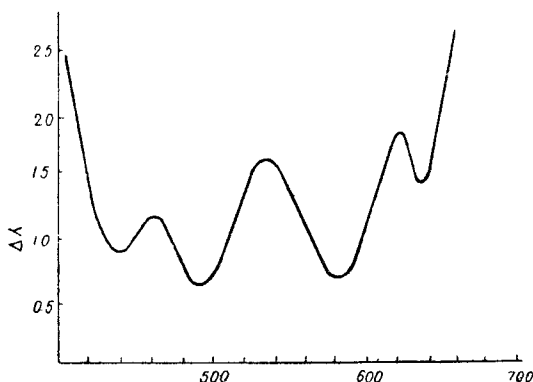


Рис. 28. Чувствительность глаза к изменению ДДВ

ния между разностями ДДВ и субъективными различиями в цветовом тоне.

Ряд исследователей пытался установить то минимальное различие в длине волны спектрального цвета $\Delta\lambda$, которое необходимо для того, чтобы вызвать отчетливое впечатление изменения цветности. На рис. 28 приведены результаты работ Джоунза (Jones). Как видно, чувствительность глаза к изменению цветности при изменении ДДВ неодинакова в различных участках спектра. Глаз наиболее чувствителен к изменению цветности ($\Delta\lambda$ мало) в желтой (580—550 нм) и сине-зеленой (490 нм) областях. Наоборот, мы очень плохо различаем цветовые оттенки в крайних красной и фиолетовой областях.

Чувствительность глаза к изменениям насыщенности также не распределена равномерно по спектру. По наиболее надежным данным Приста и Брикуэdde (Priest and Brickwedde) кривая, изображающая зависимость чувствительности глаза к насыщенности от длины волны, имеет вид, показанный на рис. 29. Как видно, различия в степени насыщенности хуже всего воспринимаются в области желтых лучей.

Характеристика цвета с помощью системы трехцветных коэффициентов и диаграммы цветности также не позволяет в достаточной степени иметь суждение о степени различий в цветности. Расстояние между двумя „цветовыми точками“ на обычной диаграмме цветности отнюдь не соответствует визуально воспринимаемому различию между соответствующими цветами. Это объясняется в основном теми различиями в чувствительности глаза к изменению цветности для разных участков спектра, о которой речь шла выше.

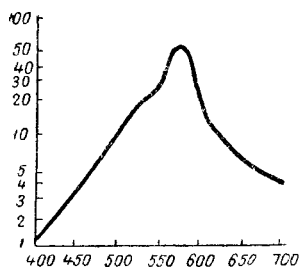


Рис. 29. Чувствительность глаза к изменению насыщенности

На ординатах отложены (в логарифмическом масштабе) величины, обратно пропорциональные степени насыщенности соответствующих спектральных

Джедд (Judd) предложил определенным образом видоизмененную систему трехцветных коэффициентов, с помощью которой можно получить диаграмму цветности, удовлетворяющую в достаточной степени требуемой задаче, т. е. равные расстояния на этой диаграмме действительно отвечают

равным визуальным различиям в цветности.

Система Джедда была упрощена Мак-Адамом (Mac-Adam) и в таком виде чрезвычайно полезна для всякого рода исследований по цветопередаче. Подробности о системе Мак-Адама можно найти в книге проф. Н. Т. Федорова „Общее цветоведение“ (2-е издание).

ГЛАВА III

ВОСПРОИЗВЕДЕНИЕ ЦВЕТА

1. АНАЛИЗ И СИНТЕЗ ЦВЕТА

Задача цветной фотографии, как и всякого способа цветной репродукции, состоит в воспроизведении цветов снимаемого объекта с помощью фотографических или других автоматических операций подобного рода.

На основании изложенных в предыдущих главах закономерностей, управляющих образованием цветового ощущения, мы можем наметить в общих чертах принципы разрешения этой задачи.

Как мы видели, возможно путем оптического смешения трех определенным образом выбранных цветов (основных цветов) воспроизвести все цвета, существующие в природе. Если мы пользуемся системой реальных цветов, т. е. выбираем в качестве основных три действительно существующие цвета (например, спектральные цвета), то некоторые цвета с особо высокой насыщенностью не могут быть точно переданы с помощью такой смеси. Как мы увидим далее, соответствующим выбором основных (первичных) цветов можно в том или ином направлении влиять на качество правильной передачи цветов.

Таким образом для получения цветной репродукции объекта достаточно составить такую смесь трех основных цветов, избранных нами в качестве первичных, чтобы цветовое ощущение, вызываемое этой смесью было идентично с цветовым ощущением, вызываемым данной точкой репродуцируемого объекта.

С подобной задачей мы встречались уже ранее при определении цвета с помощью трехцветного колориметра.

В принципе проблема всякой цветной репродукции сводится также к составлению такой смеси первичных, которая была бы эквивалентна воспроизводимому цвету. Такая операция называется синтезом цвета.

Для выполнения этого нам нужно проделать две основные операции. Во-первых, установить, какие относительные количества наших первичных необходимо взять для того, чтобы получить смесь, эквивалентную воспроизводимому цвету. Во-вторых, нужно произвести самую операцию такого смешения, т. е. синтез цвета.

Первая операция сводится к разложению репродуцируемого цвета на наши три первичные компонента, из смеси которых он может быть синтезирован, и определению доли каждого из них, входящей в этот цвет. Эта операция носит название анализа цвета.

2. ВОСПРОИЗВЕДЕНИЕ (РЕПРОДУКЦИЯ) ЦВЕТА

Процесс репродукции различных цветов во многом схож в принципе с задачей воспроизведения других физических стимулов, как например звука.

В этом последнем случае мы пользуемся микрофоном — прибором, воспринимающим звуковые колебания и трансформирующим их в электрические колебания. Последние, переданные по проводам, снова трансформируются с помощью репродуктора в звуковые волны, соответствующие воспроизводимым звукам. Таким образом мы снова здесь имеем дело с процессами регистрации или анализа и воспроизведения или синтеза. Подобному тому, как для регистрации звука мы применяем искусственное ухо-микрофон, для регистрации цвета мы пользуемся искусственным глазом — фотокамерой и светочувствительным слоем.

Основной задачей настоящей главы и является установление тех условий, которые необходимы для того, чтобы наш искусственный глаз был способен воспроизвести цвета оригинала.

С физической точки зрения от идеально правильной репродукции следовало бы требовать, чтобы она в точности воспроизводила спектральный состав света, исходящего из оригинала, т. е. чтобы для всех λ выполнялось условие:

$$E'(\lambda) = E(\lambda),$$

где $E'(\lambda)$ и $E(\lambda)$ — распределение энергии в спектре света, исходящего от репродукции и оригинала соответственно.

Однако, поскольку нашей задачей является установить только визуальное совпадение между оригиналом и копией, нет никакой необходимости выполнять это строгое условие.

Как мы уже видели ранее, для достижения цветового тождества не требуется совпадения спектрального состава, а достаточно лишь совпадения значений цветовых координат. Другими словами, мы должны репродуцировать только цвет, но не спектральный состав. Сформулируем задачу ре-

продуцирования цвета в терминах колориметрии. Пусть x', y', z' — значения цветовых координат, соответствующих цвету воспроизводимого оригинала и x'_1, y'_1, z'_1 — то же для репродукции. Тогда требуемое цветовое тождество между оригиналами и репродукцией будет выражаться равенствами:

$$x' = x'_1; y' = y'_1; z' = z'_1$$

Легко видеть, что в таком случае цветовые координаты оригинала и репродукции будут равны друг другу и, следовательно, их „цветовые точки“ на диаграмме цветности совпадут между собой.

Согласно трехцветной теории зрения мы можем выразить репродуцируемый цвет F , в виде цветового уравнения:

$$F = rR + gG + bB$$

Цвет репродукции F' будет полностью соответствовать цвету оригинала, если составить его из тех же первичных, взятых в тех же количествах, т. е. если

$$F' = k \cdot rR + k \cdot gG + k \cdot bB$$

3. АДДИТИВНОЕ СМЕШЕНИЕ ЦВЕТОВ

Для синтеза цвета мы, следовательно, должны прибегнуть к смешению трех основных цветов. Поэтому ознакомление с закономерностями смешения цветов необходимо для понимания процессов синтеза, а следовательно, и репродукции цвета в целом.

В этой области долгое время господствовала путаница понятий — оптическое смешение цветов не различалось от смешения окрашенных веществ. Гельмгольц впервые ввел ясность в эту область науки о цвете.

Мы уже ознакомились ранее (глава I) с оптическим смешением, при котором излучения смешиваемых цветов попадают в наш глаз независимо друг от друга. В результате раздражений наших нервных центров, вызванных этими излучениями, мы получаем цветовое ощущение, причем для каждого рода чувствительных центров суммарное раздражение равно сумме раздражений, вызванных каждым излучением в отдельности, т. е.

$$E_R = E'_R + E''_R + \dots$$

$$E_G = E'_G + E''_G + \dots$$

$$E_B = E'_B + E''_B + \dots$$

где E_R, E_G и E_B означают суммарные раздражения красного, зеленого и синего центров соответственно, а $E'_R, E'_G, E'_B; E''_R, E''_G, E''_B \dots$ — раздражения этих центров, вызван-

ные каждым из складываемых излучений в отдельности. Поэтому оптическое смешение обычно называют аддитивным или слагательным.

Осуществить такого рода смешение цветов можно различными путями. Наиболее просто достичь этого, направляя в глаз пучки окрашенного света, так чтобы они попадали на одно и то же место сетчатки. Это легче всего выполнить, проецируя на одно и то же место белого экрана окрашенные световые пятна, бросаемые проекционными фонарями. Окрашенные световые потоки, посылаемые фонарями, отражаются от экрана независимо друг от друга и оптически смешиваются лишь в нашем глазу с помощью вышеописанного сложения раздражений.

Если смешиваемые световые пучки попадают не на одно и то же место сетчатки, то мы, вообще говоря, видим их пространственно разделенными и никакого смешения цветов, конечно, произойти не может. Однако, если размеры этих пучков меньше разрешающей способности глаза, то наш глаз не способен разделить их пространственно, и мы воспринимаем их так, как если бы они падали на одно и то же место сетчатки. В таком случае получается эффект, равносильный оптическому смешению.

Практически такой способ смешения можно реализовать, покрыв белую поверхность системой мелких цветных пятнышек, расположенных так близко друг к другу, что они не разделяются глазом. В таком случае цвет поверхности и будет цветом аддитивной смеси цветов упомянутых пятен.

Такой способ пространственного смешения цветов применяется в текстильной промышленности при сплетении вместе тонких разноцветных нитей, в полиграфии — при так называемом автотипном способе печати. Некоторые художники (Синьяк и др.) применяли такой прием — нанесение близко расположенных друг к другу цветных пятнышек, штрихов и т. п. — для получения смешанных цветов.

Этот способ живописи называется „пуантель“ и по его имени такое пространственное смешение называется иногда смешением пуантелью. Он находит также себе применение в некоторых способах цветной фотографии (растровые способы), которые будут описаны далее.

Аддитивное смешение цветов можно осуществить, используя инертность нашего глаза, который не в состоянии воспринимать раздельно следующие быстро друг за другом световые раздражения. Если на ось быстро вращающегося мотора (1800 — 2000 об/мин.) насадить кружок с цветными секторами, то при вращении кружка мы увидим цвет, представляющий собой аддитивную смесь цветов наших секторов (вертушка Максвелла). Количество различ-

ных цветов в такой смеси прямо пропорционально площадям соответствующих секторов на диске вертушки. Этот способ является наиболее удобным для демонстрации законов аддитивного смешения.

С точки зрения трехцветной теории цветового ощущения аддитивное смешение представляет собой результат суммирования раздражений цветоощущающих нервов, вызванных лучистыми потоками. Зрительный аппарат нашего глаза способен только к суммированию получаемых впечатлений и поэтому аддитивное смешение является единственно возможным результатом.

Так как аддитивное смешение связано со свойствами глаза, то и его законы всецело обусловлены законами цветового зрения. Поэтому результаты аддитивного смешения, т. е. состав аддитивной смеси, могут быть очень легко определены из хроматических характеристик складываемых цветов, т. е. из их цветовых координат.

Вообще говоря, для аддитивной смеси двух цветов:

$$x' = x'_1 + x'_2; \quad y' = y'_1 + y'_2; \quad z' = z'_1 + z'_2.$$

Значения трехцветных коэффициентов даются формулами:

$$x = \frac{m_1 x_1 + m_2 x_2}{m_1 + m_2}; \quad y = \frac{m_1 y_1 + m_2 y_2}{m_1 + m_2},$$

где

$$m_1 = \frac{y'_1}{y_1} \quad \text{и} \quad m_2 = \frac{y'_2}{y_2}$$

Если относительные количества обоих смешиваемых цветов (например площади, занимаемые ими на вертушке Максвелла) будут a и b , то

$$x = \frac{a m_1 x_1 + b m_2 x_2}{a m_1 + b m_2}; \quad y = \frac{a m_1 y_1 + b m_2 y_2}{a m_1 + b m_2}$$

Из этих уравнений видно, что „цветовая точка“, отображающая цвет аддитивной смеси на диаграмме цветности, должна лежать на прямой, соединяющей цветовые точки обоих смешиваемых. При этом расстояние ее от смешиваемых цветов должно быть обратно пропорционально их относительным количествам в смеси.

4. АДДИТИВНЫЙ СПОСОБ СИНТЕЗА ЦВЕТА

Таким образом все цвета, лежащие на прямой, соединяющей два цвета G и R , могут быть с точностью воспроизведены путем аддитивного смешения этих двух цветов, взятых в разных соотношениях. Рассматривая с этой точки

зрения линию спектральных на рис. 30, мы увидим, что все спектральные цвета от 700 мμ до приблизительно 530 мμ могут быть воспроизведены путем смешения в разных количествах этих двух цветов. Для воспроизведения остальной части спектра этого оказывается недостаточным и приходится прибегнуть к добавлению третьего цвета.

Выбрав в качестве такового некоторый синий, изображаемый точкой B , получим три основных цвета R , G и B , которые послужат для построения всей системы цветов.

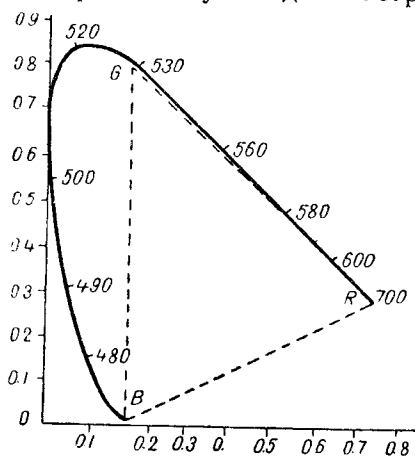


Рис. 30. Синтез цвета с помощью монохроматических первичных

Все цвета, которые возможно получить путем аддитивного смешения выбранных нами основных цветов, должны заключаться в треугольнике, образованном линиями, соединяющими наши цвета. На его сторонах будут расположены наиболее насыщенные цвета, которые можно получить, смешивая попарно наши основные цвета. Внутри треугольника располагаются цвета, составленные из всех трех основных, взятых в разных соотношениях. Как видно, выбранные нами первичные, обеспечивая отличное вос-

произведение красных, оранжевых и желтых цветов, включая и спектральные, не дают возможности не только передать сколько-нибудь удовлетворительно зеленые и синие спектральные цвета, но не воспроизводят и значительную часть реальных цветов этого тона.

Выбирая так или иначе первичные цвета среди реально осуществимых, т. е. лежащих внутри спектральной кривой графика, мы можем аналогичным образом определить, какие цвета могут быть получены смешением данных первичных.

Подходящим выбором первичных можно несколько увеличить площадь треугольника, т. е. увеличить количество воспроизводимых ими цветов. При этом следует иметь в виду, что на практике бывает особенно важно обеспечить хорошую передачу в области между $570—640\text{ мμ}$, так как большинство применяемых красок этого цветового тона является наиболее насыщенным и следовательно лежит ближе всего к линии спектральных.

Выбрав в качестве первичных монохроматические спектральные $700, 535$ и 400 мμ , мы сможем до известной степени

удовлетворить этому условию за счет некоторого ухудшения передачи насыщенности синих и зеленых цветов.

Никакая комбинация трех реальных цветов не дает возможности воспроизвести путем аддитивного смешения все цвета, включая и спектральные, в их полной насыщенности. Поэтому мы были вынуждены для характеристики спектральных цветов прибегнуть к нереальным цветам X , Y и Z , более насыщенным, чем спектральные.

Однако это ограничение не является таким существенным для практики, как могло бы показаться с первого взгляда, так как чувствительность нашего глаза к изменению насыщенности неодинакова для различных цветов. Помимо этого насыщенность синих и зеленых цветов, обычно встречающихся в природе, весьма невелика,

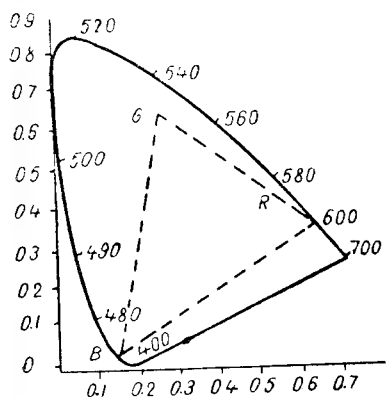


Рис. 31. Синтез цвета с помощью смешанных (неомогенных) первичных

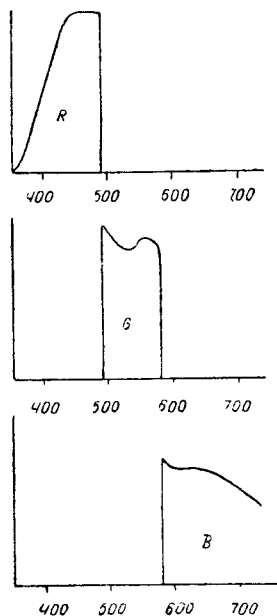


Рис. 32. Спектральный состав синтезирующих первичных рис. 31

и с такими чистыми цветами, которые лежали бы вне нашего треугольника, вообще не приходится встречаться.

Таким образом, если не принимать в расчет чистые спектральные, то можно сказать, что все существующие цвета можно воспроизвести как по цветовому тону, так и по насыщенности с помощью аддитивного смешения трех первичных спектральных с длинами волн 700, 535 и 400 $m\mu$. Из практических соображений выбирают обычно 700, 546 и 436 $m\mu$, так как последние два цвета соответствуют линиям спектра ртути.

Само собой разумеется, что выбирая в качестве первичных цвета менее насыщенные, чем спектральные, мы

значительно суживаем область доступных нам цветов. В качестве примера приведем первичные, кривые пропускания которых приведены на рис. 32. Они представляют собой участки спектра источника S от $700 - 580 \text{ мμ}$ (красный первичный), $580 - 490 \text{ мμ}$ (зеленый первичный) и $400 - 490 \text{ мμ}$ (синий первичный). На диаграмме цветности (рис. 31) точки R , G и B соответствуют именно этим первичным. Треугольник этих цветов охватывает значительно меньший диапазон цветов, чем для монохроматических первичных рис. 30, однако, он еще вполне достаточен для практических целей. С этим обстоятельством нам приходится особенно считаться при воспроизведении цвета на практике.

5. ПРИНЦИПЫ АДДИТИВНОГО СПОСОБА ЦВЕТНОЙ ФОТОГРАФИИ

Пользуясь полученными нами сведениями относительно аддитивного синтеза, мы можем в общих чертах набросать основные принципы фотографического воспроизведения цвета на основе аддитивного синтеза.

Операции синтеза, как нам известно, предшествует операция анализа, т. е. разложения репродуцируемого цвета на три первичных компонента и определения их относительного количества в данном свете.

Первую половину этой задачи можно разрешить с помощью трех светофильтров, каждый из которых пропускает только один из наших первичных. Если мы, например, в качестве таких первичных избрали некоторый красный, зеленый и синий стимулы, то с помощью соответствующих светофильтров можно выделить каждый из этих первичных, входящих в состав снимаемого объекта.

Для примера рассмотрим рис. 33. В строке I помещен репродуцируемый объект. Возьмем три фотографических аппарата, направленных на этот объект и снабдим их светофильтрами, каждый из которых пропускает только один из трех избранных нами первичных. В таком случае картина, которую мы увидим на матовом стекле этих трех аппаратов, будет иметь вид, показанный в строке II (мы пренебрегаем здесь для ясности тем, что изображение на матовом стекле будет перевернутым и обращенным).

Легко видеть что зеленые и синие лучи, отраженные соответствующим образом окрашенными частями объекта, не пройдут через красный фильтр и будут казаться черными. Белый же фон и красные и желтые части объекта, отражающие красные лучи, будут казаться красными.

Смешением первичных цветов, взятых в надлежащих количествах, можно будет воссоздать необходимый цвет,

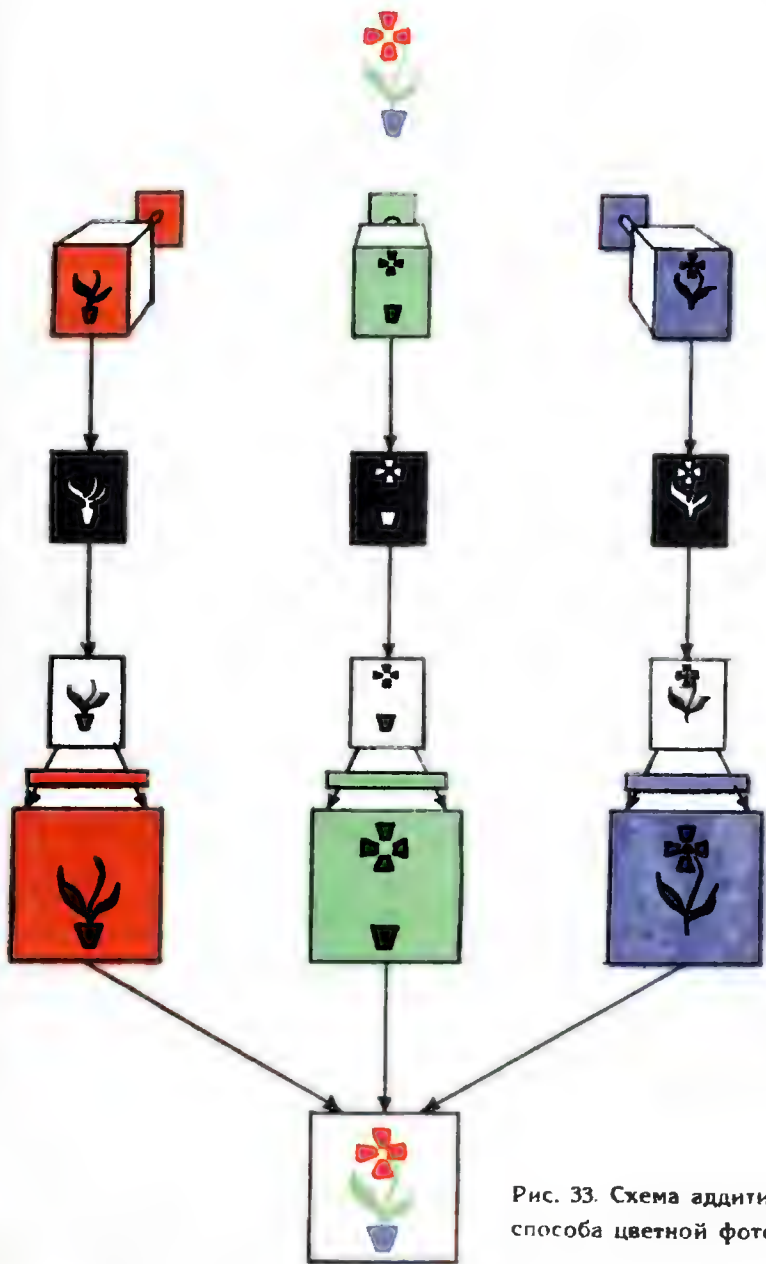


Рис. 33. Схема аддитивного способа цветной фотографии

зная предварительно количество, в котором первичные цвета входят в состав воспроизводимого нами цвета. Для того чтобы сделать это, воспользуемся свойством фотографической пластинки запечатлевать действующий на нее свет в виде более или менее плотного осадка металлического серебра.

Поместив теперь на место матовых стекол наших фотографических аппаратов со светофильтрами три фотографические пластинки (которые, разумеется, должны быть чувствительны ко всем лучам спектра), получим после съемки и проявления три негатива, показанные в строке III.

Плотность и распределение осадка металлического серебра на этих негативах должны в точности соответствовать количеству каждого из первичных, необходимому для воспроизведения соответствующего места оригинала.

Этим мы выполнили задачу анализа цвета.

Теперь необходимо синтезировать цвет, т. е. с помощью этих трех цветоделенных негативов составить такую смесь наших первичных, чтобы ее состав в каждой точке репродукции был бы одинаков с составом оригинала.

Для получения необходимых для синтеза первичных снабдим соответствующими фильтрами три проекционных фонаря, которые дадут три световых потока, соответствующих нашим первичным цветам*.

Направив все эти три пучка окрашенного света на одно и то же место белого экрана, мы сможем получить на нем все цвета (в пределах, допускаемых выбранными первичными), меняя количества каждого из первичных в этой смеси.

Составить смесь, требующуюся для воспроизведения нашего оригинала, можно следующим образом. Приготовим диапозитивы с каждого из наших цветоделенных негативов. Прозрачности таких цветоделенных диапозитивов будут пропорциональны количеству соответствующего первичного в данной точке оригинала (строка IV).

Поместим эти диапозитивы на пути соответствующих окрашенных лучей наших проекционных фонарей, т. е. диапозитив, сделанный с негатива, снятого с красным фильтром („красный негатив“), будет помещен на пути красных лучей и т. д. (строка V). При этом количество света, пропускаемого каждой точкой цветоделенного позитива, будет, очевидно, пропорционально прозрачности этого места, и смесь всех первичных, прошедших через эти позитивы, будет иметь нужный состав, требуемый для передачи воспроизводимого цвета на экране (строка VI). Приведенная схема

* Как будет видно из дальнейшего, светофильтры, применяемые при съемке (анализ), вообще говоря, не являются теми же самыми, какие употребляются при проекции (см. § 12, гл. III).

служит только для качественного ознакомления с процессами анализа и синтеза при репродуцировании цвета.

Рассмотрим теперь другую схему, поясняющую тот же процесс с количественной стороны (рис. 34). На этой схеме процессы анализа и синтеза показаны отдельно.

Цвет, который мы желаем воспроизвести, разлагается на три первичные с помощью анализирующих светофильтров. Плотности полученных цветоделенных негативов (показаны на схеме серой краской) должны быть пропорциональны тем количествам первичных, в которых их надо смешать, чтобы получить фотографируемый цвет. Это изображено на схеме в виде разной ширины серых участков, представляющих металлическое серебро негативного изображения. Как видно, плотности соответствующих цветоделенных негативов относятся как 6:3:1.

Далее наступает процесс синтеза. Из трех источников белого цвета с помощью соответствующих светофильтров выделяем первичные в виде трех окрашенных световых потоков. Для того чтобы из них было можно составить воспроизводимый нами цвет, их интенсивности должны относиться как 6:3:1. В таком случае состав и окраска полученной из них аддитивной смеси будут такими же, как и у воспроизводимого цвета.

Приготовим с наших цветоделенных негативов прозрачные позитивные изображения, прозрачности которых будут пропорциональны количеству соответствующих первичных и относятся как 6:3:1. Если мы поместим диапозитивы на пути наших первичных, как это показано на схеме, каждый диапозитив пропустит как раз то количество света, которое требуется для синтеза, и в результате аддитивного смешения мы получим требуемый цвет.

Суммируя все вышесказанное, можно установить такую последовательность основных операций в процессе цветовой репродукции по аддитивному способу:

Разложение воспроизводимого цвета на три первичных с помощью светофильтров.	}	Анализ цвета
Регистрация относительных требуемых количеств этих первичных в виде цветоделенных негативов различной плотности		
Получение цветоделенных позитивов, прозрачности которых пропорциональны относительным количествам первичных.	}	Синтез цвета
Выделение синтезирующих первичных из белого света с помощью светофильтров		
Аддитивное смешение первичных, прошедших через соответствующие цветоделенные позитивы.		

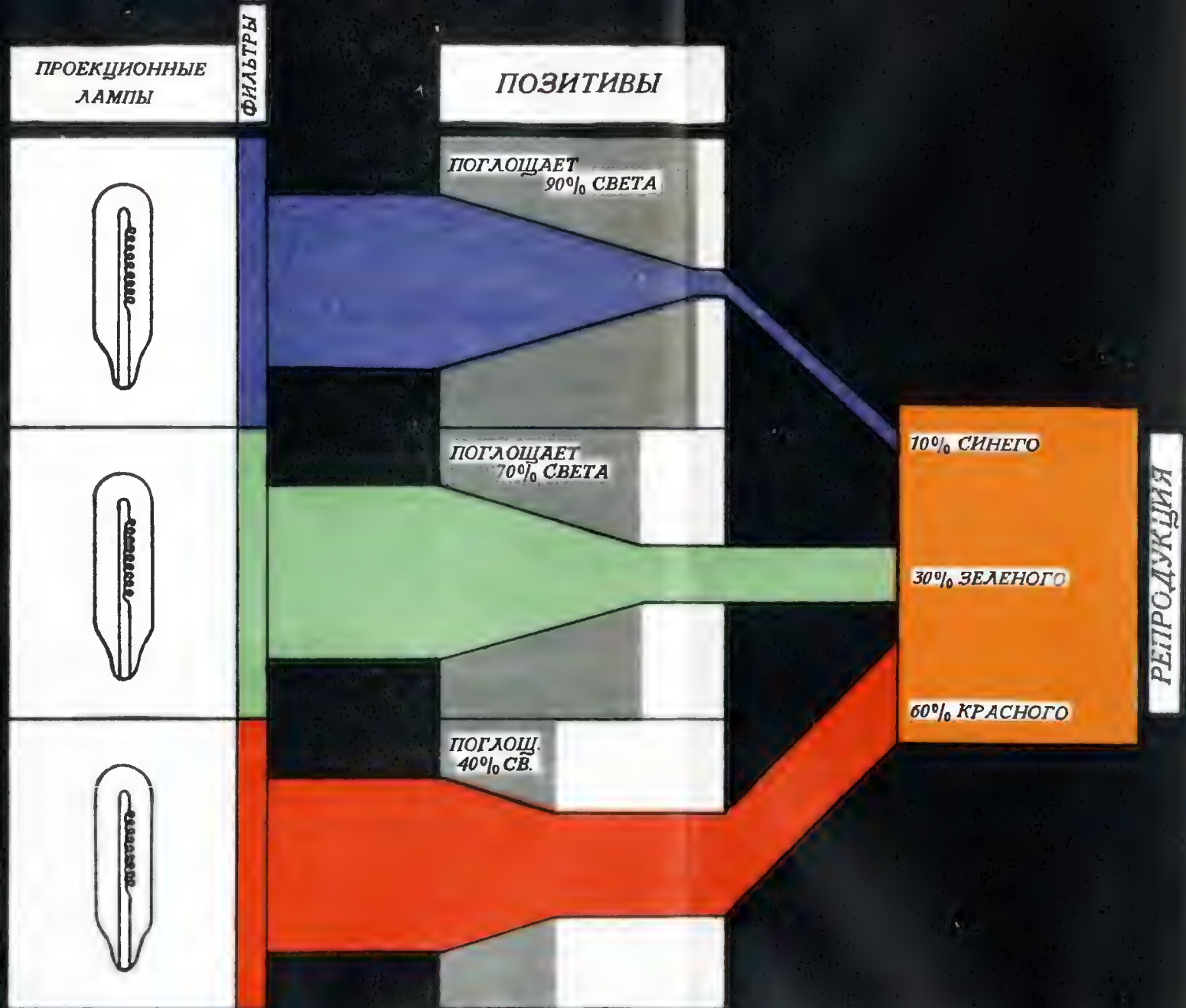


Рис. 34. Схема синтеза цветов по аддитивному способу

6. НЕДОСТАТКИ АДДИТИВНОГО СПОСОБА

В рассматриваемых примерах в качестве первичных использован свет, пропущенный светофильтрами, вырезающими из спектра более или менее узкие области. На практике всегда поступают именно так, а не пользуются монохроматическими излучениями, о которых мы говорили выше.

Свет, пропускаемый фильтром, всегда менее насыщен, чем спектральный, и чем светлее фильтр, тем большую спектральную область он пропускает, тем, следовательно, его насыщенность меньше.

Желая выделить с помощью светофильтров возможно более насыщенные первичные, мы неизбежно значительно теряем при этом в светлоте и, наоборот, желая получить достаточно светлые цвета, должны пользоваться более светлыми фильтрами, т. е. менее насыщенными первичными со всеми вытекающими из этого последствиями.

Описанный выше метод аддитивного синтеза с помощью проекционных фонарей может, очевидно, давать цветное изображение только на экране.

Для аддитивного синтеза в отраженном свете можно, казалось бы, использовать пространственное смещение (см. § 3). Однако этот способ неминуемо связан с большими потерями в светлоте, так как точки каждого из цветов занимают в среднем только одну треть всей поверхности и, следовательно, каждый из первичных участвует в смеси ослабленным примерно в три раза.

Самое светлое место такого изображения отражает всего около 30% падающего света, т. е. вместо белого мы получим серый и соответственно все остальные цвета получатся сероватыми, что создает впечатление грязи.

Поэтому аддитивные методы применимы лишь для проекции или для рассматривания в проходящем свете.

7. СУБТРАКТИВНЫЙ СПОСОБ СИНТЕЗА ЦВЕТА

Желая избежать значительной потери в светлоте, связанной с аддитивным синтезом, необходимо будет прибегнуть к другому способу составления цвета из первичных, при котором была бы обеспечена передача цветов с достаточной светлотой.

Мы будем исходить из белого света, содержащего в равных пропорциях первичные, и варьировать их количество путем вычитания той или иной доли соответствующего первичного.

Поясним сказанное примером.

Пусть нам требуется воспроизвести некоторый цвет. Мы можем его получить, смешивая аддитивно красные, зеленые и синие первичные в надлежащих относительных количествах, например, взяв 10% синего, 30% зеленого и 60% красного первичного.

Однако мы имеем еще и другую возможность получить желаемую смесь цветов.

Возьмем белый цвет, в котором все три первичные содержатся в равных количествах, и вычтем из него 40% красного, 70% зеленого и 90% синего. Смешав аддитивно оставшиеся после этой операции первичные, мы должны получить снова нашу смесь.

Такого рода вычитание цветов можно осуществить путем поглощения света с помощью подходящей поглощающей среды светофильтра или слоя прозрачной (лессировочной) краски. Для поглощения синего первичного мы должны применить такую краску, которая, поглощая синий, в то же время пропускает по возможности без изменения зеленый и красный первичные. Такой краской явится желтая, дополнительная к синему. Аналогично для вычитания зеленого первичного служит пурпуровая, а красного — сине-зеленая краска.

Такой способ составления цвета путем вычитания соответствующих количеств первичных носит название субтрактивного (вычитательного) синтеза.

Схема синтеза цвета по субтрактивному способу дана на рис. 35.

Освещенная белая поверхность, на которую наносится краска, является источником белого света, содержащего все первичные в равных количествах. Чтобы установить между ними нужные соотношения, определяющиеся составом воспроизводимого цвета, мы вводим на пути света, последовательно один за другим селективно поглощающие среды (слои прозрачных красок) с таким расчетом, чтобы каждый из них поглощал бы только один из первичных, пропуская остальные два без изменения.

Изменяя степень поглощения в каждом слое (на нашей схеме это изображено в виде разной толщины красочных слоев), мы можем варьировать состав света, прошедшего через все три слоя.

Получение чистого белого цвета при субтрактивном синтезе в принципе совершается весьма просто. Белый цвет создается просто белой поверхностью, на которой не нанесено никаких поглощающих слоев краски. При этом способе белый цвет получается без потери в светлоте. Точно так же без особых потерь в светлоте могут быть переданы и остальные цвета.

ОРИГИНАЛ

60% КРАСНОГО
30% ЗЕЛЕНОГО
10% СИНЕГО

ФИЛЬТРЫ

НЕГАТИВЫ

ПОЗИТИВЫ

60% КРАСНОГО

30% ЗЕЛЕНОГО

10% СИНЕГО

РЕПРОДУКЦИЯ

ПОГЛОЩАЕТ
90% СИНЕГО

ПРОП. 10% СИН

ПОГЛОЩАЕТ
70% ЗЕЛЕНОГО

ПРОП. 30% ЗЕЛЕН

ПОГЛОЩАЕТ
40% КРАСНОГО

ПРОПУСКАЕТ
60% КРАСНОГО

Рис 35 Схема синтеза цвета по субтрактивному способу

8. СРАВНЕНИЕ АДДИТИВНОГО И СУБТРАКТИВНОГО СПОСОБОВ СИНТЕЗА

Резюмируя, мы можем сказать, что синтез цвета из трех первичных можно выполнить двумя путями:

1. Исходя из отсутствия света, можно смешать три первичных стимула в требуемых количествах (аддитивный способ).

2. Исходя из белого света как смеси всех первичных в равных количествах, можно вычесть из него требуемые количества первичных с помощью прозрачных окрашенных сред (светофильтров или слоев красок), наложенных один на другой (субтрактивный способ).

Как легко видеть, никакой принципиальной разницы между субтрактивными и аддитивными видами смешения нет. И в том и в другом случае цветовое ощущение получается в нашем глазу в результате суммирования раздражений, вызванных одними и теми же первичными. Различие состоит только в способе выделения и дозировки этих первичных.

В аддитивном способе мы составляем требующуюся нам смесь первичных путем сложения трех независимых друг от друга потоков окрашенного света. Интенсивность каждого из этих потоков регулируется с помощью соответствующих цветоделенных черно-белых позитивов.

При субтрактивном способе синтеза мы исходим из смеси равных количеств всех трех первичных, которую мы имеем в виде белого цвета. Изменение состава этой смеси, т. е. изменение интенсивностей входящих в ее состав компонентов достигается в этом способе путем вычитания требуемых количеств первичных. Это вычитание осуществляется при прохождении белого света через позитивные изображения, окрашенные в цвета, дополнительные к первичным.

Так как в субтрактивном синтезе мы исходим из уже готовой смеси первичных (белый свет), то нам приходится ввести вычитание с помощью наложенных друг на друга окрашенных слоев, каждый из которых поглощает только один из первичных. Краски, которыми мы пользуемся для такого вычитания первичных, отнюдь не следует рассматривать как компоненты цветного изображения, которыми являются только три первичных: синий, зеленый и красный. Для них лучше применять выражение субтрактор (вычитаемое).

В качестве таких субтракторов мы применяем обычно краски соответствующих цветов: желтую (синий субтрактор), пурпуровую (зеленый субтрактор) и сине-зеленую (красный субтрактор).

Хотя субтрактивное смешение является лишь частным случаем аддитивного, тем не менее оно имеет свои особенности.

Мы уже говорили о том, что, поскольку аддитивное смешение цветов происходит в нашем глазу, его законы всецело определяются цветоощущающим аппаратом глаза. С этой точки зрения аддитивное смешение является чисто зрительным, оптическим явлением.

Процесс вычитания цвета, являющийся сущностью субтрактивного процесса, основан на чисто физическом явлении избирательного поглощения лучей света частицами краски и никакой связи с аппаратом нашего глаза не имеет. Таким образом эта существенная часть субтрактивного процесса, являясь чисто физической, не зависит от свойств нашего глаза и подобно другим процессам поглощения полностью определяется спектральными характеристиками красок — субтракторов.

Восприятие нами цвета, получившегося в результате субтракции, подчиняется тем же законам, что и любого другого, т. е. определяется спектральным составом света, кривыми основных ощущений и законом суммирования зрительных раздражений. Однако спектральный состав воспринимающего света определяется как результат поглощения в слоях красок-субтракторов.

В силу этого субтрактивное смешение является в отличие от аддитивного не только оптическим, но и физическим явлением.

9. СВОЙСТВА СУБТРАКТОРОВ

Это обстоятельство не дает возможности предсказать заранее цвет, полученный путем субтрактивного смешения, зная только цвета субтракторов. При субтрактивном синтезе все вспомогательные средства, которые были так ценны при аддитивном способе (диаграмма цветности, цветовой треугольник и т. д.), оказываются почти бесполезными.

Для выяснения цвета субтрактивной смеси нам нужно, пользуясь спектральными кривыми субтракторов, определить спектральный состав пропущенного ими света и с помощью описанной ранее стандартной процедуры найти его цветность в системе МОК.

Для определения спектрального состава субтрактивного цвета нужно иметь в виду, что коэффициент пропускания комбинации поглотителей (субтракторов) для некоторой λ равен произведению коэффициентов пропускания отдельных поглотителей для той же длины волны. Это правило является прямым следствием законов поглощения, о которых шла речь выше. На основании сказанного легко понять получение кривой спектрального пропускания комбинации синей и желтой прозрачных красок, показанное на рис. 36.

Мы видели, что в ряде случаев субтрактивное смешение может являться вполне эквивалентной заменой аддитивного. Однако для этого необходимо соблюдение некоторых вполне определенных условий, на разъяснении которых следует несколько остановиться.

В рассмотренном ранее случае „идеального“ субтрактивного синтеза эти условия были выполнены. При наших рассуждениях мы все время полагали, что каждый из субтракторов способен поглощать только один первичный, пропуская в то же время остальные два первичных без всякого ослабления при любой концентрации (или толщине слоя). Кроме того мы принимали также, что при достаточной и достижимой прак-

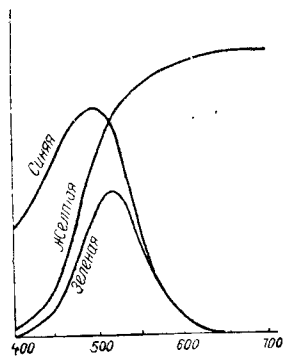


Рис. 36. Спектральное пропускание комбинации синей и желтой прозрачных красок

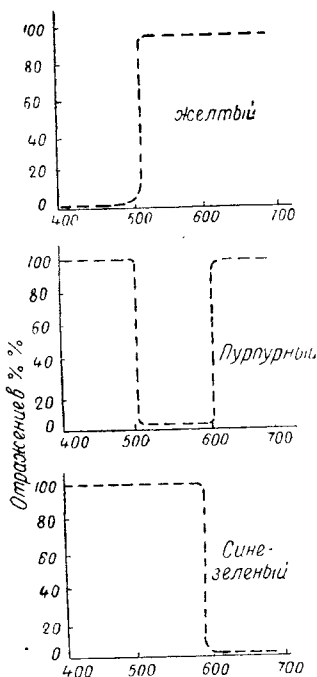


Рис. 37. Спектральное пропускание „идеальных“ субтракторов

тически толщине слоя или концентрации краски поглощение данного первичного может быть полным.

Вычисление характеристик цвета, полученного в результате субтрактивного синтеза с такими идеальными субтракторами, сводится к определению характеристики аддитивной смеси соответствующих первичных. Зная координаты этих первичных и их количества, пропущенные соответствующим субтрактором, по формулам легко вычислить координаты смеси. Для того чтобы удовлетворить требованиям, предъявляемым к идеальным субтракторам, кривые спектрального пропускания, применяемые для этой цели, красок, должны иметь вид, показанный на рис. 37.

Легко узнать в них те оптимальные цвета, о которых шла уже речь в главе I, § 14.

Как мы уже знаем, все существующие краски, в особенности пурпуровые и сине-зеленые, весьма значительно отклоняются от оптимальности. В силу этого, те сравнительно простые соотношения при субтрактивном синтезе, о которых мы говорили здесь, уже не имеют места в случае реальных красок. В этом случае закономерности при субтрактивном синтезе настолько усложняются, что всякого рода расчеты делаются крайне затруднительными, если не совсем невозможными. Установление закономерностей для субтрактивного синтеза было бы облегчено, если бы мы имели дело с красителями, у которых при изменении концентрации или толщины слоя область поглощения оставалась бы в пределах той же самой спектральной зоны. Однако, как мы видели ранее (гл. 1, § 15), громадное большинство красителей не удовлетворяет этому условию.

Идеальные субтракторы с кривыми пропускания оптимальных цветов это требование выполняют. По Харди их можно было бы назвать „стабильными“ красителями в противоположность обычным „нестабильным“, хотя лучше оставить более правильный и общий термин „оптимальные“. Можно показать, что при соблюдении этих условий в отношении выбора красителей субтрактивный синтез вполне эквивалентен аддитивному.

Первичные, спектральный состав которых показан на рис. 32, требуют идеальных субтракторов с кривыми пропускания, показанным на рис. 37. При применении таких красок остаются в силе все те же соображения относительно диапазона передаваемых цветов, которые мы излагали при описании аддитивного синтеза с помощью этих первичных.

10. ПРИНЦИПЫ СУБТРАКТИВНОГО СПОСОБА ЦВЕТНОЙ ФОТОГРАФИИ

Для последующего весьма важно иметь в виду, что субтрактивный метод вообще присущ и черно-белой фотографии.

Задачей черно-белой фотографии является воспроизведение светлот снимаемого объекта. В фотографическом изображении это достигается уменьшением светлоты заданного белого цвета бумаги (или света источника при проекции) с помощью черного осадка металлического серебра различной плотности. По сути дела здесь субтрактивный способ получения шкалы светлот подобен субтрактивному способу получения цветов. Черное металлическое серебро

фотографического изображения является субтрактором светлоты подобно тому, как краска является субтрактором цвета.

Ввиду такой аналогии уместно будет для характеристики цветных субтракторов ввести понятие „цветовая плотность“, аналогичное понятию „оптическая плотность“ для белого субтрактора — металлического серебра. Цветовой плотностью данного субтрактора мы будем называть логарифм содержания в нем вычитаемого первичного с обратным знаком

$$D_c = -\log R_c; D_m = -\log G_m; D_y = -\log B_y$$

где, D_c , D_m и D_y — цветовые плотности сине-зеленой, пурпуровой и желтой красок соответственно, а R_c , G_m и B_y — количество красного, зеленого и синего первичного, пропущенного этими красками. Аналогично этому для черно-белого изображения $D_o = -\log W$, где D_o — оптическая плотность серебряного осадка, а W — количество белого света, пропущенного им.

Фотографическое воспроизведение цвета на основе субтрактивного процесса отличается от аддитивного только в части выполнения синтеза.

После получения цветоделенных негативов с них готовят цветоделенные позитивы. При этом нет необходимости изготавливать непременно прозрачные позитивы (диапозитивы), как это требовалось при аддитивном способе, поскольку субтрактивный синтез не связан, подобно аддитивному, с потерей светлоты и может быть с успехом использован для непрозрачных изображений. На позитиве, сделанном, например, с „синего“ негатива, металлическое серебро находится в тех местах, где синего в объекте было меньше, чем его содержится в белом. Поэтому мы получим в репродукции нужное нам распределение и количество синего первичного, если заменим серебро соответствующего позитивного изображения на синий субтрактор, т. е. желтую краску, соблюдая, разумеется строгую пропорциональность между количествами серебра и цветовой плотностью краски.

Аналогичным образом мы должны поступить для вычитания красного и зеленого первичных. Превращая металлическое серебро позитивного изображения, сделанного с красного негатива, в сине-зеленую краску (красный субтрактор), мы удалим из белого света требуемое количество первичного. Таким образом серебро позитивного изображения с зеленого негатива должно быть окрашено в пурпурный цвет (зеленый субтрактор).

11. ТРЕБОВАНИЕ К АНАЛИЗИРУЮЩЕЙ СИСТЕМЕ

Перейдем теперь к рассмотрению тех условий проведения отдельных операций, которые необходимы для того, чтобы получить правильную цветовую репродукцию оригинала тем или иным способом.

Начнем с процесса анализа и установим прежде всего условия, которым должна удовлетворить анализирующая система.

Такой анализирующей системой, позволяющей выделить и зарегистрировать первичные, является комбинация светофильтра и фотографической пластинки. Во многих отношениях их функции совпадают, и мы часто будем рассматривать их как единое целое — анализирующую систему. В дальнейшем мы уточним свойства и условия применения компонент — фильтра и пластинки в отдельности.

Раньше всего установим, какие требования нужно предъявить к нашей анализирующей системе со стороны ее спектральной чувствительности. Этим будет определяться спектральный состав выделяемых нашей системой первичных.

Спектральная чувствительность анализирующей системы складывается из спектральной чувствительности фотографической пластинки и спектрального пропускания светофильтра. Мы установим сначала общие требования к анализирующей системе в целом, а затем детализируем их для фильтров и пластинок в отдельности.

Естественней всего было бы, конечно, предположить, что спектральная чувствительность нашей системы должна соответствовать чувствительности трех цветоощущающих центров нашего глаза. Другими словами, кривые спектральной чувствительности должны воспроизводить кривые основных ощущений, о которых речь шла выше.

Такой точки зрения придерживался ряд исследователей (Ф. Айвс, Абней и др.) на ранних стадиях развития цветной фотографии. Легко видеть, что эта точка зрения ошибочна и основана на неправильном понимании смысла кривых основных ощущений.

В самом деле кривые основных ощущений дают для каждой длины волны в спектре относительную степень раздражения трех зрительных центров, вызываемого в нашем глазу монохроматическим светом той или иной длины волны. Так например, монохроматический свет с длиной волны 500 $m\mu$ вызывает раздражение зеленого центра примерно на 50%, а синего и красного по 25%. При съемке такого цвета на наших гипотетических пластинках соответствующие цветоделенные позитивы будут обладать той же относительной прозрачностью.

Для воспроизведения нашего цвета мы должны теперь осветить каждый из наших диапозитивов светом, возбуждающим только один из цветочувствительных центров. В таком случае 50% такого зеленого первичного, прошедшего через зеленый цветоделенный позитив, в сочетании с 25% синего и красного первичных, пропущенных синим и красным позитивами, дадут в нашем глазу ощущение спектрального цвета с длиной волны в 500 μ .

Однако рассмотрение кривой основных ощущений показывает, что даже чистые спектральные цвета возбуждают одновременно не менее двух центров. Требующиеся нам первичные, возбуждающие только один центр, должны быть более насыщены, чем спектральные, что, очевидно, недостижимо. Поэтому невозможно пользоваться кривыми основных ощущений для выбора спектральной чувствительности анализирующей системы.

Более рациональным было бы применить для этой цели кривые смещения. Ординаты этих кривых дают для любого места спектра пропорции трех первичных, в которых они должны быть смешаны для того, чтобы воспроизвести этот спектральный цвет. Кривые, полученные Райтом, соответствуют трем чистым спектральным первичным 650, 530 и 460 μ , примененных Райтом в его опытах. Следовательно, применяя фотографические материалы со спектральной чувствительностью, соответствующей этим кривым, мы должны для правильного воспроизведения применить эти же монохроматические первичные.

Однако применение монохроматических первичных практически невозможно, так как выделение их с помощью светофильтров или пигментов требовало бы таких темных фильтров или красок, что лишило бы этот способ всякого практического значения. Само собой разумеется, что стандартные кривые смещения для стандартного наблюдения МОК (рис. 19) еще менее подходят для наших целей, так как они основаны на нереальных, более насыщенных, чем спектральные, первичных стимулах: X , Y , Z .

Однако кривые сложения могут быть вычислены для любой системы первичных. Такой расчет производится по формулам перехода от одной трехцветной системы координат к другой, приведенным в главе I.

12. ПРИНЦИПЫ РАСЧЕТА АНАЛИЗИРУЮЩЕЙ СИСТЕМЫ

Пусть значения цветовых координат, взятых нами первичных цветов R , G , B по международной системе будут:

$$x'_r, y'_r, z'_r; x'_g, y'_g, z'_g; x'_b, y'_b, z'_b$$

Если спектральное распределение для света, отраженного объектом, есть $E(\lambda)$, а цвет его F , то по свойствам

кривых сложения цвет F может быть составлен из наших трех первичных R, G, B согласно цветовому уравнению:

$$F = R \cdot \int_{380}^{720} E(\lambda) r(\lambda) d\lambda + G \cdot \int_{380}^{720} E(\lambda) g(\lambda) d\lambda + B \cdot \int_{380}^{720} E(\lambda) b(\lambda) d\lambda \quad (1)$$

где $r(\lambda), g(\lambda), b(\lambda)$ — кривые сложения для первичных R, G, B .

Пусть спектральная чувствительность пластинок будет $S_r(\lambda); S_g(\lambda); S_b(\lambda)$. Тогда действие света с распределением энергии $E(\lambda)$ на пластинку выразится в виде:

$$\left. \begin{aligned} \Sigma_r &= k_r \int_{380}^{720} E(\lambda) \cdot S_r(\lambda) d\lambda \\ \Sigma_g &= k_g \int_{380}^{720} E(\lambda) \cdot S_g(\lambda) d\lambda \\ \Sigma_b &= k_b \int_{380}^{720} E(\lambda) \cdot S_b(\lambda) d\lambda \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

где k_r, k_g, k_b — коэффициенты, зависящие от экспозиции.

Непрозрачности негативов и прозрачности диапозитивов будут (при $\gamma=1$) пропорциональны этим величинам.

При репродуцировании прозрачности диапозитивов определяют количества складываемых первичных, а потому цвет F , полученный на репродукции, будет:

$$F_1 = \Sigma_r \cdot R + \Sigma_g \cdot G + \Sigma_b \cdot B \quad (3)$$

Сравнивая равенства (1), (2) и (3) мы видим, что для точного совпадения цветов на репродукции с цветами оригинала ($F=F_1$) необходимо и достаточно, чтобы

$$\left. \begin{aligned} \Sigma_r &= k_r \int_{380}^{720} E(\lambda) \cdot S_r(\lambda) d\lambda = \int_{380}^{720} E(\lambda) r(\lambda) d\lambda \\ \Sigma_g &= k_g \int_{380}^{720} E(\lambda) \cdot S_g(\lambda) d\lambda = \int_{380}^{720} E(\lambda) g(\lambda) d\lambda \\ \Sigma_b &= k_b \int_{380}^{720} E(\lambda) \cdot S_b(\lambda) d\lambda = \int_{380}^{720} E(\lambda) b(\lambda) d\lambda \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

Так как равенства (4) должны иметь место для любого $E(\lambda)$ (для любых излучений оригинала), то необходимым и достаточным условием точной передачи любых цветов оригинала является:

$$\left. \begin{aligned} S_r(\lambda) &= \frac{1}{k_r} r(\lambda) \\ S_g(\lambda) &= \frac{1}{k_g} g(\lambda) \\ S_b(\lambda) &= \frac{1}{k_b} b(\lambda) \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

Иначе говоря, ординаты кривых спектральной чувствительности пластинок должны быть пропорциональны ординатам кривых сложения взятых первичных R, G, B .

Кривые сложения для первичных R, G, B не трудно вычислить из стандартных кривых сложения для системы X, Y, Z .

Так как ординаты кривых сложения являются координатами цветов спектра, то к ним применима общая формула (см. гл. I, § 18), связывающая цветовые координаты одного и того же цвета относительно различных первичных, т. е.

$$\left. \begin{aligned} \bar{x}(\lambda) &= x'_r(\lambda) \cdot r(\lambda) + x'_g g(\lambda) + x'_b b(\lambda) \\ y(\lambda) &= y'_r(\lambda) \cdot r(\lambda) + y'_g g(\lambda) + y'_b b(\lambda) \\ \bar{z}(\lambda) &= z'_r(\lambda) \cdot r(\lambda) + z'_g g(\lambda) + z'_b b(\lambda) \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

Решая эту систему уравнений относительно $r(\lambda), g(\lambda), b(\lambda)$ получим:

$$\left. \begin{aligned} r(\lambda) &= [(y'_g z'_b - y'_b z'_g) x(\lambda) + (x'_b z'_g - x'_g z'_b) y(\lambda) + \\ &\quad + (x'_g y'_b - x'_b y'_g) z(\lambda)] \cdot \frac{1}{\Delta} \\ g(\lambda) &= [(y'_b z'_r - y'_r z'_b) x(\lambda) + (x'_r z'_b - x'_b z'_r) y(\lambda) + \\ &\quad + (x'_b y'_r - x'_r y'_b) z(\lambda)] \cdot \frac{1}{\Delta} \\ b(\lambda) &= [(y'_r z'_g - y'_g z'_r) x(\lambda) + (x'_g z'_r - x'_r z'_g) y(\lambda) + \\ &\quad + (x'_r y'_g - x'_g y'_r) z(\lambda)] \cdot \frac{1}{\Delta} \end{aligned} \right\} \quad (7)$$

где Δ постоянный множитель, равный

$$\Delta = x'_r (y'_g z'_b - y'_b z'_g) + y'_r (x'_b z'_g - x'_g z'_b) + \\ + z'_r (x'_g y'_b - x'_b y'_g)$$

Так как искомые кривые спектральной чувствительности $S_r(\lambda), S_g(\lambda), S(\lambda)$ должны быть пропорциональны

кривым сложения, мы можем отбросить постоянный множитель $\frac{1}{\Delta}$. По этой же причине можно заменить, если угодно, цветовые координаты x'_r, y'_r, z'_r и т. д. пропорциональными им трехцветными коэффициентами. Таким образом мы получаем формулу, позволяющую с помощью стандартных кривых сложения МОК $x(\lambda), y(\lambda), z(\lambda)$ и цветовых координат (трехцветных коэффициентов) взятых нами первичных R, G, B найти кривые относительной спектральной чувствительности пластинок $S_r(\lambda), S_g(\lambda), S_b(\lambda)$, обеспечивающих идеальную цветопередачу*.

$$\left. \begin{aligned} S_r(\lambda) &= (y_g z_b - y_b z_g) x(\lambda) + (x_b z_g - x_g z_b) y(\lambda) + \\ &\quad + (x_g y_b - x_b y_g) z(\lambda) \\ S_g(\lambda) &= (y_b z_r - y_r z_b) x(\lambda) + (x z_b - x_b z_r) y(\lambda) + \\ &\quad + (x_b y_r - x_r y_b) z(\lambda) \\ S_b(\lambda) &= (y_r z_g - y_g z_r) x(\lambda) + (x_g z_r - x_r z_g) y(\lambda) + \\ &\quad + (x_r y_g - x_g y_r) z(\lambda) \end{aligned} \right\} \quad (8)$$

Фактически вычисление производится так: сначала вычисляют величины, стоящие в скобках. Затем, взяв таблицу стандартных кривых сложения, помножают цифры первой колонки таблицы $[x(\lambda)]$ на первую скобку, вторую колонку $[y(\lambda)]$ на вторую и третью колонку $[z(\lambda)]$ на третью скобку первого уравнения. Беря для каждого (λ) сумму трех полученных таким путем произведений, мы найдем $S_r(\lambda)$. Таким же образом вычисляются и две другие функции.

Вычисленные таким образом спектральные чувствительности для случая монохроматических синтезирующих первичных 700, 535 и 400 $m\mu$ приведены на рис. 38.

Мы уже разбирали ранее результаты аддитивного синтеза с помощью этих первичных и нашли, что с помощью только положительных количеств их невозможно получить точную передачу всех цветов, включая и спектральные с полной насыщенностью.

Вследствие этого вычисленные кривые спектральной чувствительности, приведенные на рис. 38, в некоторых местах принимают отрицательные значения, соответствующие отрицательным количествам первичных, необходимым для воспроизведения соответствующего спектрального.

Передача насыщенности еще более ухудшается в том случае, когда мы применяем ненасыщенные первичные, представляющие собой довольно широкие полосы спектра. Про-

* Этот способ расчета, представляющий собой более строгое обоснование метода, предложенного Харди (Hardy), дан Н. Д. Ньюбергом.

изводя, например, расчет для $S(\lambda)$ в случае первичных, изображенных на рис. 32, мы получим кривые спектральной чувствительности (рис. 39), отрицательные части в которых, в особенности для S_r , гораздо более развиты. Разумеется, невозможно придать фотографической пластинке спектральную чувствительность, меньшую нуля для некоторых λ , или

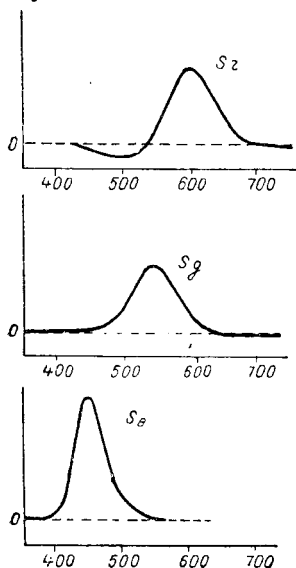


Рис. 38. Спектральная чувствительность анализирующей системы для монохроматических первичных рис. 30

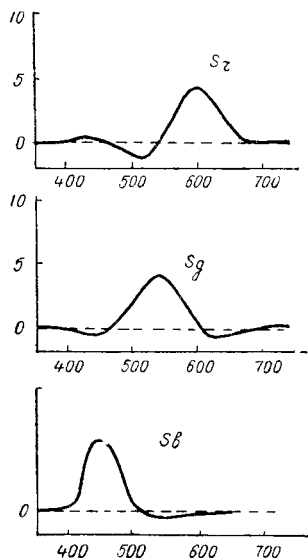


Рис. 39. Спектральная чувствительность анализирующей системы для первичных рис. 32

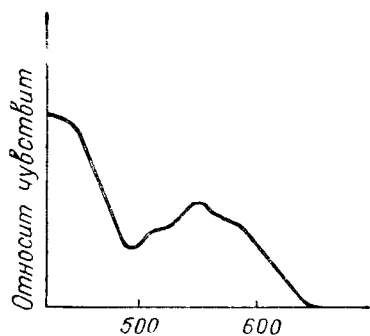
добиться этого с помощью каких бы то ни было светофильтров, так как последние способны самое большее свести чувствительность до нуля.

Невозможность воспроизведения отрицательных частей кривых спектральной чувствительности вызывает, конечно, некоторую ошибку в передаче цвета. Естественно, что эта ошибка будет тем большей, чем больше по размеру отрицательная часть, которой пренебрегают. Величина и значение этой ошибки будет выяснена позже.

13. СПЕКТРАЛЬНАЯ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТЬ НЕГАТИВНЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ЦВЕТНОЙ РЕПРОДУКЦИИ

Однако, если даже пренебречь отрицательной частью кривых $S(\lambda)$, то невозможно получить фотографический слой, сенсibilизированный таким образом, чтобы кривая его спектральной чувствительности имела нужную форму.

Для обычных панхроматических материалов, наиболее пригодных для цветной репродукции (тип В Истмен Кодак, или изопанхром по нашей терминологии) кривая спектральной чувствительности имеет примерно такой вид (рис. 40). Следует иметь в виду, что подобного рода кривые спектральной чувствительности, которыми приходится пользоваться для этих целей, должны быть построены с учетом распределения энергии в спектре, т. е. получены с соблюдением правил спектросенситометрии (см. Бокиник, Гороховский) и представлять собой кривые энергетической спектральной чувствительности.



Спектральная чувствительность изопанхроматических пластинок Кодак

Для того чтобы получить требуемую чувствительность, приходится прибегать к обычно употребляемому в таких случаях приему — к применению светофильтров. Подбирая соответственным образом кривую пропускания светофильтра, мы можем нужным нам образом изменить спектральную чувствительность нашего фотоматериала и таким способом

получить для анализирующей системы нужное значение спектральной чувствительности. Для количественного расчета требующегося для этой цели светофильтра следует исходить из очевидного соотношения $S(\lambda) = S'(\lambda) \cdot T_\lambda$, где $S(\lambda)$ — требуемая эффективная чувствительность анализирующей системы: фильтр-пластинка для данной длины волны λ , $S'(\lambda)$ — то же для одной пластинки и T_λ — прозрачность фильтра для этой же длины волны. Зная $S(\lambda)$ (по уравнению (9) и определив $S'(\lambda)$ для применяемого сорта пластинок, легко вычислить T_λ для всех длин волн. Относительное значение эффективной спектральной чувствительности для панхроматических пластинок типа В Кодака с реттеновскими фильтрами № 21 (для красного), 40А (для зеленого) и 49А + 2А (для синего), приведенные на рис. 41, довольно хорошо совпадают с положительными частями теоретических кривых спектральной чувствительности рис. 39. Кривые поглощения этих фильтров приведены на рис. 42.

Можно было бы несколько изменить фильтры, чтобы сделать их еще более совпадающими с теоретическими, однако, это не имеет никакого смысла, поскольку не устранены еще другие, гораздо более серьезные источники ошибок в цветном процессе.

Нет никакой принципиальной необходимости, чтобы все три пластинки обладали бы одной и той же спектральной чувствительностью $S'(\lambda)$. Напротив, имеются некоторые преимущества для применения трех различных пластинок.

Для синей анализирующей системы можно применять несенсибилизированную пластинку, чувствительную только к сине-фиолетовой части спектра; для зеленой — ортохроматическую и для красной — панхроматическую. Очевидно, что в этом случае необходимо применять фильтры с совер-

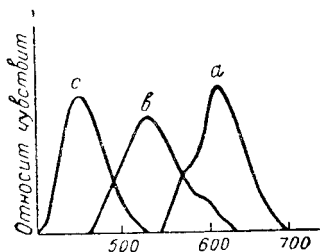


Рис. 41. Спектральная чувствительность изопанхроматических пластинок Кодак под фильтрами Реттен

α — красный фильтр; β — зеленый фильтр; γ — синий фильтр.

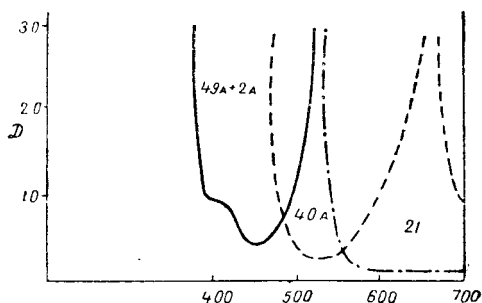


Рис. 42. Кривые поглощения фильтров Реттен 21, 40А и 49А + 2А

шенно другими спектральными характеристиками. В дальнейшем мы еще вернемся к этому вопросу и разберем более детально преимущества и недостатки такого способа.

Хотя вид кривых $S(\lambda)$ зависит от выбора синтезирующих первичных и, следовательно, определяется применяемыми в данном процессе проекционными фильтрами или субтрактивными красками, тем не менее положительные части этих кривых сравнительно мало меняются для обычно применяемых первичных. Положение максимумов чувствительности практически остается почти неизменно при 450, 550 и 600 $m\mu$. Напротив, пределы и величина отрицательных частей этих кривых в высшей степени зависят от выбора синтезирующих первичных. Как мы видели ранее, это находится в прямой связи с чистотой первичных.

14. ВЫБОР АНАЛИЗИРУЮЩИХ (ЦВЕТОДЕЛЯЩИХ) СВЕТОФИЛЬТРОВ

Изложенные здесь рассуждения относятся к репродукции с помощью аддитивного или эквивалентного ему, идеализированного случая субтрактивного способа смешения, в котором соблюдаются все условия, принятые Харди при его расчетах. Поскольку, с одной стороны, не все эти условия на практике могут быть соблюдены в достаточной

степени (особенно для субтрактивного процесса) и поскольку, с другой стороны, мы вынуждены пренебрегать отрицательными частями кривых спектральной чувствительности, весьма значительными для практически употребляемых ненасыщенных первичных (в особенности, опять-таки при субтрактивном процессе), мы не можем рассчитывать получить правильную передачу всех цветов как по цветовому тону, так и по его насыщенности.

С другой стороны, нам нет никакой необходимости требовать правильной передачи всех цветов, включая и спектральные, как это предусматривается в расчетах Харди. Чистые спектральные и очень насыщенные цвета в природе встречаются лишь в виде исключения и мы значительно облегчим задачу, отказавшись заранее от их воспроизведения.

Такое изменение поставленных условий не может не вызвать некоторых изменений и в требованиях, предъявленных к съемочным светофильтрам. В данном случае полного теоретического расчета, облегчающего условия воспроизведения, произвести не удалось и остается только эмпирический подбор оптимальных данных, ведущихся на основе некоторых общих соображений.

Применяя обычные ненасыщенные синтезирующие первичные и нормальные анализирующие фильтры без отрицательной характеристики, мы не можем правильно воспроизвести все цвета как по цветовому тону, так и по насыщенности. На практике прибегают к компромиссу, видоизменяя кривые пропускания анализирующих фильтров таким образом, чтобы за счет некоторых допустимых искажений цветового тона добиться достаточно удовлетворительной передачи насыщенности.

Идеальные анализирующие системы Харди отличаются весьма широким взаимным перекрыванием кривых спектральной чувствительности. На практике, когда мы имеем ненасыщенные синтезирующие первичные и не можем реализовать отрицательные значения для анализирующей системы, такое широкое перекрытие приводит к значительной потере насыщенности в репродукции. Поэтому практически применяемые фильтры обладают значительно меньшим перекрытием, чем идеальные. С этой точки зрения возможно, что лучше было бы применять фильтры, обладающие широкими и соприкасающимися, но не перекрывающимися кривыми пропускания (рис. 43); с ними можно было бы достигнуть несколько лучшего компромисса между насыщенностью и цветовым тоном.

Однако существующие красители не дают возможности изготовить такие фильтры и желая избежать перекрывания, приходится прибегать к узким фильтрам с несоприка-

сающимися полосами пропускания. Такого рода фильтры неизбежно будут темными и чрезвычайно удлинит требующуюся выдержку.

С этими соображениями приходится считаться главным образом при передаче очень насыщенных цветов, обладающих узкими полосами отражения. Желая правильно передать по цветовому тону два весьма чистых оттенка зеленого: сине-зеленый и желто-зеленый, мы должны потребовать, чтобы плотности соответствующих цветоделенных негативов были различны. Как видно из рис. 44, этого можно добиться только с сильно перекрывающимися фильтрами, что повлечет за собой значительную потерю в насыщенности.

Из рис. 44 легко также заключить, что в случае обычных объектов, имеющих очень широкие полосы отражения, можно получить вполне удовлетворительное цветоделение как с пе-

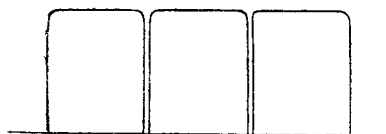


Рис. 43. Неперекрывающиеся фильтры

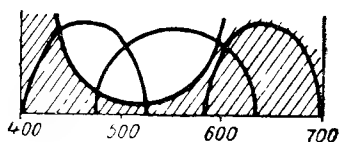
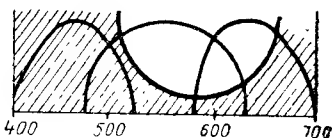
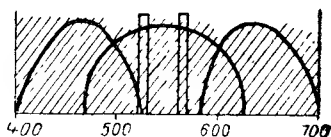


Рис. 44. Передача узких и широких полос отражения

рекрывающимися, так и с соприкасающимися фильтрами и даже с такими узкими, что между ними остаются промежутки. Таким образом решающим в смысле выбора фильтров является то обстоятельство, что перекрывающиеся фильтры являются более прозрачными и требуют меньшей выдержки, чем более узкие.

Вопрос о допустимой степени перекрытия решается исходя из того, что предпочтительнее допустить небольшие отклонения в передаче цветового тона, чем значительные ошибки в насыщенности. Если передача насыщенности является особенно существенной, то следует пользоваться более темными перекрывающимися фильтрами (более строгими) за счет некоторого увеличения времени выдержки.

Спенсер на основании своих обширных исследований по подбору фильтров приходит к такого рода заключениям.

„Ошибки, вызванные применением фильтров, не вполне соответствующих теоретическим требованиям, если эти

ошибки не являются чрезмерными, незначительны по сравнению с ошибками, происходящими вследствие несовершенства пигментов“.

Остается еще рассмотреть вопрос о величине ошибки, вносимой вследствие пренебрежения отрицательными частями спектральных характеристик анализирующей системы. Этот вопрос был недавно предметом детальных исследований Мак-Адама, который пришел к заключению, что хотя пренебрежение отрицательными частями и вызывает заметное искажение цветности даже при аддитивном процессе, однако оно не слишком велико и может быть в значительной степени скомпенсировано с помощью некоторых дополнительных приемов.

Для субтрактивного процесса отрицательные части кривых имеют еще большее значение, и вызванные этим ошибки делаются настолько большими, что требуют для своей компенсации специальных способов.

15. ТРЕБОВАНИЯ К СЕНСИТОМЕТРИЧЕСКИМ СВОЙСТВАМ НЕГАТИВНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Трудности, возникающие при реализации требуемой спектральной чувствительности фотографической анализирующей системы, встречаются не только при необходимости получения отрицательной спектральной чувствительности. Еще в 1905 г. Чепман Джонс указал на то, что изменение величины контраста с длиной волны света, действующего на фотографический слой, является серьезным препятствием для достижения определенной спектральной чувствительности фотографических эмульсий. Зависимость контраста γ от длины волны λ неоднократно обсуждалась различными авторами. На рис. 45 представлена типичная кривая зависимости контраста от длины волны света для некоторой панхроматической эмульсии.

Плотность фотографического изображения зависит от контраста и для прямолинейной части характеристической кривой может быть выражена такой функцией:

$$D = \gamma \cdot \frac{\log E}{\log E_i}$$

где E — экспозиция, соответствующая данной величине D , а E_i — величина фотографической инерции. Поскольку (γ) , в свою очередь является функцией длины волны, зависимость почернения D от длины волны будет определяться не только спектральной чувствительностью $S(\lambda)$ эмульсии, но и видом функции γ .

В результате этого форма кривой, дающей зависимость между D и λ , будет различна для различных D и, сле-

довательно, для различных экспозиций будет неодинакова. На рис. 46 показаны изменения в эффективной спектральной чувствительности для комбинации фильтр—фотографическая пластинка (с зависимостью γ от λ , как это показано на рис. 45) при различных значениях плотностей. Кривая a соответствует плотности $D=0,2$, $b—D=0,6$ и $c—D=1,0$.

Поэтому спектральная чувствительность пластинок, для которых контраст является функцией длины волны, будет зависеть от экспозиции. В силу этого две окрашенные поверхности, обладающие одинаковыми спектральными характеристиками, могут при одной интенсивности освеще-

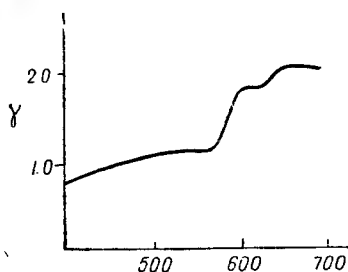


Рис. 45. Зависимость контраста от длины волны

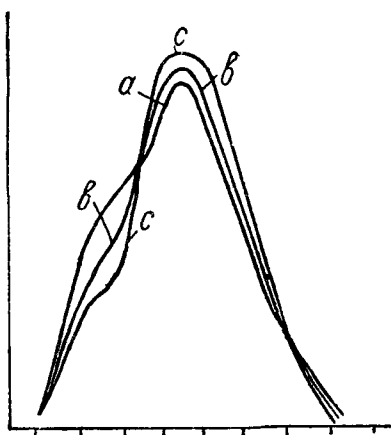


Рис. 46. Зависимость относительной спектральной чувствительности от плотности

ния дать на эмульсии совершенно одинаковые плотности, а при другой интенсивности — неидентичные плотности, несмотря на полную одинаковость всех прочих условий. Это явление, обязанное именно той зависимости спектральной чувствительности от экспозиции, о которой мы говорили, будет наблюдаться и тогда, когда обе интенсивности освещения подобраны таким образом, чтобы соответствующие плотности находились бы на прямолинейном участке характеристической кривой.

Поэтому для правильной передачи различных цветов необходимо, чтобы контраст эмульсии был по возможности независим от длины волны.

16. УСЛОВИЕ ПРОПОРЦИОНАЛЬНОСТИ ПЕРЕДАЧИ

Для правильной передачи относительных количеств трех первичных, составляющих цветные изображения, необходимо, чтобы фотографический процесс обеспечивал бы пропорциональную передачу всех яркостей изображения.

Для этого требуется, чтобы все регистрируемые интенсивности находились в области правильных экспозиций,

т. е. лежали бы на прямолинейном участке характеристической кривой.

Несоблюдение этого правила может повлечь за собой значительные искажения в цветопередаче, причину которых удобнее всего выяснить с помощью следующего примера.

Пусть на рис. 47 кривая изображает собой характеристическую кривую для нашей анализирующей системы.

Пусть мы снимаем некоторый окрашенный объект, у которого яркости синего и красного первичного относятся

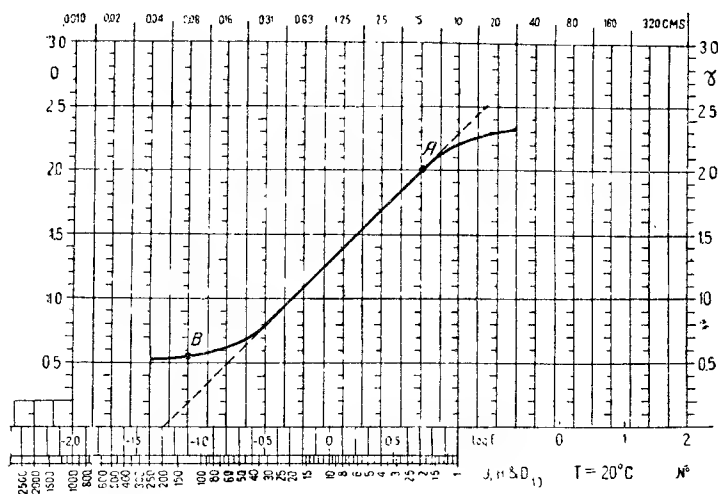


Рис. 47. Значение пропорциональной передачи

как 1:64. При пропорциональной передаче плотности соответствующих негативов должны относиться между собой как 1:10.

Если выдержка выбрана такой, что плотность красного негатива соответствует концу прямолинейной части характеристики (точка A), то соответствующая плотность на синем негативе будет лежать уже в области недодержек (точка B). В силу этого отношение плотностей будет уже 1:4, т. е. надлежащее соотношение между количествами первичных, обеспечивающее правильную цветопередачу, будет нарушено.

Само собой понятно, что если выбрать выдержку так, чтобы плотность синего негатива лежала бы на прямолинейном участке, то соответствующая точка красного негатива очутится в области передержек, где пропорциональность передачи также нарушена.

Важность этого особенно станет понятной, если рассмотреть передачу одного и того же цвета при разных освещенностях.

Пусть одна половина нашего окрашенного объекта с соотношением между яркостями красного и синего первичного, как 4:1, находится в тени, а другая освещена более ярко — в 16 раз.

На рис. 48 соответствующие плотности негативов ($D_r, D'_r; D_b, D'_b$) будут изображаться точками на характеристической кривой. Легко видеть, что отношение D_r/D_b не равно

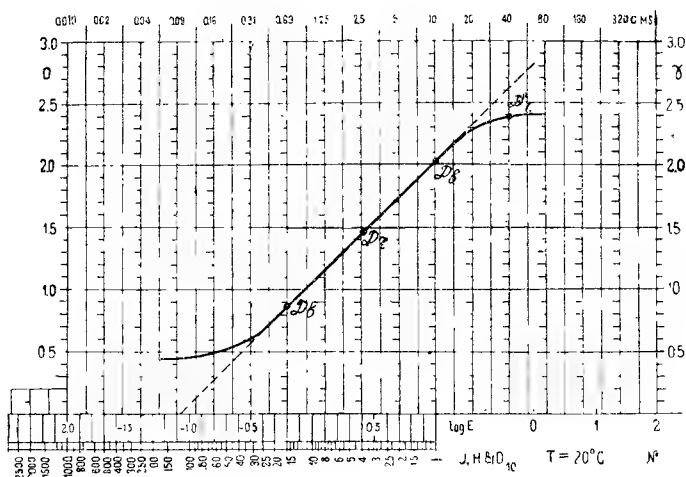


Рис. 48. Значение пропорциональной передачи

отношению D'_r/D'_b , так как точка D'_r находится в области передержек. Поэтому соотношение между первичными, а стало быть, и цветность репродукции будут разными в светах и тенях изображения.

В самое последнее время Н. Д. Ньюбергом было показано, что для случая неидеального субтрактивного процесса более выгодным может оказываться применение негативных материалов с непрямолинейной формой характеристической кривой (например с постоянно возрастающим градиентом).

17. НЕСОВЕРШЕНСТВО СУБТРАКТИВНОГО СПОСОБА ЦВЕТНОЙ РЕПРОДУКЦИИ

Правильная передача цветов в пределах, допускаемых синтезом цвета из трех реальных первичных, может быть обеспечена только при выполнении разобранных выше требований относительно спектральной чувствительности и фотографических характеристик светочувствительных слоев.

Однако все без исключения практически осуществимые субтрактивные способы в значительной степени отличаются от идеального субтрактивного процесса.

Выше мы уже рассматривали те условия, при которых субтрактивный процесс делается идеальным, т. е. эквивалентным аддитивному. Эти условия относились к спектральным характеристикам применяемых субтракторов. Последние должны полностью поглощать вычитаемые ими первичные и целиком пропускать остальные.

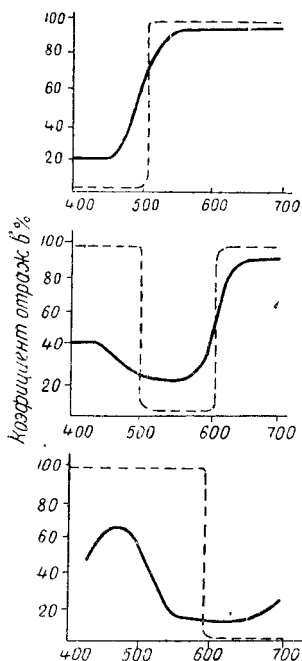


Рис. 49. Сравнение существующих субтракторов с идеальными

Однако сине-зеленый и пурпуровый пигменты или краски в весьма слабой степени удовлетворяют этим требованиям. Сине-зеленый краситель, отражая довольно значительную долю красных лучей, поглощает вместе с тем весьма большое количество синих и зеленых лучей. Аналогично этому пурпуровый пигмент, далеко не полностью поглощая зеленые лучи, не вполне отражает синие и красные. На рис. 49 приведены спектральные кривые отражения из числа наилучших субтрактивных красителей по сравнению с теоретически требующимися.

Как видно, расхождение весьма велико. В этом несовершенстве красок заключается главная причина несовершенства цветопередачи при субтрактивном способе.

Нестабильность красителей, т. е. зависимость их цветового тона от концентрации или толщины слоя, чрезвычайно затрудняет более или менее точную оценку искажений, вносимых в цветопередачу этими недостатками субтрактивных пигментов.

Все же возможно указать в таблице на некоторые результаты этих свойств красителей (см. табл. стр. 87).

Особенно страдает от этого передача зеленых тонов. Такого рода явление объясняется главным образом тем, что зеленые объекты отражают весьма мало зеленых лучей и характеризуются главным образом поглощением красных. Наиболее яркие зеленые окраски (весенняя листва) отражают не более 30—35% зеленых лучей, содержащихся в белом свете. Отражение же этих лучей от листвы деревьев и т. п. составляет обычно не более 8—15%. Сравнительно высокая светлота, которой обладают зеленые предметы, объясняется высокими значениями видности для зеленой части спектра. Другими словами, любой зеле-

Пурпурный. Недостаточно отражает (или пропускает) синие и красные лучи.

Желтый. Довольно хорошо подходит к идеальному типу, но несколько поглощает зеленые лучи.

Сине-зеленый. Очень плохо отражает (или пропускает) зеленые и синие лучи.

Фиолетовый. Передается очень темным и слишком красноватым.

Причина: недостатки сине-зеленой и пурпурной красок.

Зеленый. Передается слишком темным, красноватым и ненасыщенным.

Причина: недостатки главным образом сине-зеленой и отчасти желтой окраски.

Красный и оранжевый. Передаются несколько загрязненными.

Причина: недостатки пурпурной краски (недостаточное отражение красного).

Желтый. Принимает оранжевый оттенок.

Причина: недостаточное отражение зеленых лучей желтой краской.

Синий. Передается слишком темным и с пурпурным оттенком. Ненасыщен.

Причина: недостаток главным образом сине-зеленой краски.

ный предмет, каким бы ярким он ни выглядел, отражает значительно меньше зеленых лучей, чем белая поверхность.

Таким образом недостаточная эффективность зеленых пигментов в значительной степени компенсируется большей видностью зеленых лучей.

Однако такого рода компенсация не имеет места в процессе фотографического воспроизведения цвета. Это еще усугубляется несовершенством желтого и синего пигментов, с помощью которых в субтрактивном процессе получается зеленый цвет.

Зеленый цвет регистрируется только на зеленом негативе, который служит затем для изготовления пурпурного позитива. Так как зеленые предметы отражают зеленых лучей значительно меньше, чем белые, то в условиях нормальной экспозиции невозможно получить на зеленом негативе зеленые места такой же плотности, как и белые. В результате этого при печати цветного позитива в этих

местах будет довольно большое количество пурпурного, что понизит насыщенность и светлоту зеленого.

Само по себе это обстоятельство не было бы серьезной помехой для передачи зеленых тонов, если бы желтый и сине-зеленый пигменты, с помощью которых они воспроизводятся, удовлетворяли бы теоретическим требованиям и отражали бы весь зеленый свет, падающий на них. На самом деле этого нет, и поэтому мы получаем весьма темный зеленый, который еще более деградирует из-за примеси пурпурного.

Недостаточное поглощение вычитаемых краской лучей вредит передаче темных цветов, которые получаются более светлыми.

18. ТЕОРИЯ ЦВЕТОПЕРЕДАЧИ ПРИ СУБТРАКТИВНОМ ПРОЦЕССЕ

Рассмотрим такую репродукционную задачу. Допустим, что оригинал представляет собой целый ряд цветных полей, составленных из смесей трех печатных красок во всевозможных количествах и соотношениях.

Если репродукция выполняется теми же красками и тем же самым способом, как и оригинал, то, очевидно, точная передача цветов данного оригинала получится в том и только в том случае, если на соответственных местах оригинала и репродукции те же самые три краски смешаны в тех же самых количествах.

Допустим для простоты, что краски вполне прозрачны и подчиняются закону Ламберта—Бэра, так что оптическая плотность смеси трех красок для каждой равна сумме плотностей для каждой из красок в отдельности. Таким образом, если $D_1(\lambda)$, $D_2(\lambda)$, $D_3(\lambda)$ — кривые плотностей трех красок при максимальной концентрации, которую мы примем для каждой из красок за единицу, а q_1 , q_2 , q_3 — некоторые концентрации трех красок, выраженные в этих единицах, то спектральная кривая плотности смеси красок в концентрациях q_1 , q_2 , q_3 будет:

$$D_s(\lambda) = q_1 D_1(\lambda) + q_2 D_2(\lambda) + q_3 D_3(\lambda)$$

При фотографировании такой комбинации красок через какой-либо светофильтр мы получим некоторое почернение, которое будет зависеть от $D_s(\lambda)$ и следовательно от всех трех величин q_1 , q_2 , q_3 .

Нетрудно видеть, что для идеальной цветопередачи необходимо так подобрать три светофильтра, чтобы на каждом из трех негативов почернение было бы функцией не всех трех, а только одной из величин q_1 , q_2 или q_3 , т. е. зависело бы от количества только одной краски.

Если же при съемке через первый светофильтр негативная плотность будет зависеть не только от q_1 , но, скажем, также и от q_2 , то как бы мы ни проводили процесс превращения негативных плотностей в одноцветное изображение, правильная дозировка выделяемой краски на репродукции недостижима. Другими словами, поскольку количества красок в оригинале взаимно независимы, постольку задача цветоделения состоит в том, чтобы плотности соответствующих цветоделенных негативов не зависели бы от присутствия тех или иных количеств двух других красок, а регистрировали бы только количество выделяемой краски (субтрактора).

Отсюда не трудно поставить необходимое и достаточное условие, которому должны удовлетворять съемочные светофильтры (точнее — кривые спектральной чувствительности трех анализирующих систем: фильтр — эмульсия), чтобы цвета оригинала, выполненного репродукционными красками, могли быть переданы идеально*.

Во всей области пропускания съемочного светофильтра (в области чувствительности системы) обе краски кроме выделяемой не должны иметь никакого поглощения. Для первой краски для этих значений λ

$$D_2(\lambda) \equiv D_3(\lambda) \equiv 0, \text{ а } D_1(\lambda) \neq 0.$$

Если $D_2(\lambda)$ или $D_3(\lambda) \neq 0$ для этих λ , то цветоделение не безупречно и негатив несет в себе неизбежные ошибки цветопередачи. Чем меньше $D_2(\lambda)$ и $D_3(\lambda)$ по сравнению с $D_1(\lambda)$ в пределах чувствительности системы, тем лучше цветоделение и тем меньше неустранимые в дальнейшем процессе ошибки цветопередачи.

Достаточно посмотреть кривые плотности или кривые отражения существующих красок, чтобы убедиться в трудности подобрать светофильтры, вполне удовлетворяющие поставленным условиям (см. рис. 99 — 101). Во многих случаях это вообще невозможно, так как часто краски имеют заметное поглощение по всему спектру („грязные“ краски). Например грязная синяя краска часто делает невозможными безупречные негативы для желтой и красной красок.

Когда цветоделение не идеально, то на негативе это сказывается в том, что цвета, получающиеся при одинаковом участии выделяемой краски, но при разном содержании двух других, будут давать тем меньшую плотность на негативе, чем больше содержание двух невыделяемых красок. Обычно стараются получить правильную передачу серых или близких к серым цветов. Для каждого цвета

* Это условие справедливо, очевидно, не только для красок прозрачных и удовлетворяющих закону Бэра, но и для любых других.

можно в этом случае подобрать такой серый, который содержит одинаковое с ним количество выделяемой краски. Если такой серый цвет будет содержать две другие краски в количествах больших, чем данный, то на репродукции, при правильной передаче серого, данный цвет получит выделяемой краски меньше, чем нужно. Наоборот, для других цветов мы будем иметь избыток краски. Так например, для пурпурных, розовых и т. д. цветов будет ощущаться недостаток пурпурной краски, а для зеленых ее избыток.

Чем уже область пропускания светофильтра, тем легче выбрать его так, чтобы поглощение двух невыделяемых красок в области пропускания светофильтра было бы минимальным, тем лучше, следовательно, должно быть цветоделение, как это обычно и наблюдается на практике. Однако применение чрезвычайно узких (так называемых монохроматических) фильтров таит некоторые опасности.

Все наши предыдущие рассуждения были выведены из рассмотрения оригинала, сделанного теми же красками, какими осуществляется репродукция. Рассуждения останутся справедливыми и для тех случаев, когда кривые спектральной плотности для различных мест оригинала могут быть с достаточной точностью воспроизведены данными красками (хотя бы на оригинале эти кривые были получены иным путем). Однако теоретически возможны случаи, когда мы имеем на оригинале полное тождество по цвету с определенной комбинацией репродукционных красок, в то время как кривые в том и ином случае заметно различаются. Фотографируя такой оригинал через очень узкий фильтр, мы можем получить другие негативные плотности, чем если бы те же самые цвета были бы осуществлены репродукционными красками; отсюда могут произойти значительные искажения оригинала на репродукции. Чем уже область пропускания фильтра, тем вероятнее становятся подобные случаи.

Как известно, если спектральная кривая системы фильтр—эмульсия представляет собой кривую сложения (см. § 12 главы I), то негативная плотность получается той же самой для любых излучений тождественных по цвету, каков бы ни был их спектральный состав. В этом случае безупречная передача цветов оригинала, сделанного тремя репродукционными красками, гарантировала бы безупречную передачу любого оригинала. Однако кривые сложения являются „широкими“ кривыми, т. е. захватывают очень значительные участки спектра. Как мы видели, даже при очень узких фильтрах часто бывает трудно выбрать их так, чтобы в области их пропускания невыделяемые краски не имели бы поглощения. В случае применения кривых сложе-

ния сколько -нибудь удовлетворительное цветоделение оказывается совершенно невозможным, и неустранимые ошибки цветопередачи оказываются весьма значительными.

Впрочем можно доказать, что если мы имеем дело с несветящимися предметами, имеющими „пологие“ кривые отражения без резко выраженных „пиков“, освещенных к тому же источником с непрерывным спектром, то для любых двух таких предметов, сходных по цвету, спектральные кривые отражения не могут сильно отличаться друг от друга*. Более подробное рассмотрение вопроса показывает, что кривые отражения комбинации репродукционных красок и такого же по цвету объекта могут иметь более или менее значительные расхождения только для цветов, близких к серому средней яркости (не очень светлому, но и не слишком темному). Однако и в этих случаях расхождения в кривых лишь в небольшой степени сказываются на негативных плотностях, поскольку съемочные светофильтры никогда не бывают строго монохроматическими. При этом, впрочем, необходимо соблюдать условия, чтобы область чувствительности системы не была бы сдвинута слишком сильно к концам спектра, а тем более в его невидимую часть, так как сходство по цвету гарантирует сходство спектральных кривых только в пределах видимого спектра и, главным образом, в его средней части.

Таким образом приходится считать, что требование соблюдения независимости от спектрального состава (кривые сложения) имеет сравнительно незначительное практическое значение и требования хорошего цветоделения несомненно превалируют.

Рассматривая спектральные кривые различных красок, можно видеть, что выделение голубой краски возможно красным светофильтром, который даже может быть и не очень узким, если только пурпурная краска имеет достаточно малое поглощение в красной части. Зеленый светофильтр для выделения пурпурной краски выбрать труднее главным образом из-за значительного поглощения зеленой части спектра голубой краской. Область его пропускания должна выбираться несколько по-разному, в зависимости от того, каковы желтая и голубая краски. Синий фильтр, выделяющий желтую краску, дает обычно то же не безупречное цветоделение, так как пурпурные краски (а иногда и голубые) имеют весьма заметное поглощение в синей части спектра. Следствием этого является избыток желтой краски всюду, где много красной, и недостаток там, где ее мало (особенно на чисто желтых местах).

* В частности, независимо даже от „пологости“ кривых их кривые отражения имеют по меньшей мере три точки пересечения.

Хорошее практическое решение проблемы светофильтров получается, если (это, впрочем, не всегда возможно по техническим причинам) для выделения какой-либо краски взять фильтр, составленный из двух других, который автоматически будет иметь пропускание там, где поглощение этих красок минимальное.

19. МЕТОД МАСОК

Для исправления недостатков цветоделения большую помощь может оказать метод масок. Принцип этого метода следующий.

Как было видно из предыдущего, недостатки цветоделения выражаются в том, что на негативе, выделяющем какую-либо краску, появляются добавочные (искажающие) прозрачности, пропорциональные наличию на оригинале двух других красок. Коэффициент пропорциональности при этом будет равен поглощению соответствующей краской активных лучей. Таким образом исправление негатива будет достигнуто, если на него наложить добавочные плотности, пропорциональные количествам двух других красок. Иначе говоря, исправление негатива может быть достигнуто, если негатив, выделяющий данную краску, сложить с диапозитивами („масками“), выделяющими две другие краски, но проявленными до гаммы во столько раз меньшей, во сколько поглощение выделяемой краски больше поглощения двух других в области пропускания съемочного фильтра.

Однако задача может быть решена проще с помощью одного лишь диапозитива. Допустим для простоты, что в области пропускания фильтра спектральная плотность каждой из трех красок постоянна и равна для первой (выделяемой) краски d_1 , для второй d_2 и для третьей d_3 . Тогда количество действующего света при фотографировании смеси красок в количествах q_1, q_2, q_3 будет

$$I \cdot 10^{q_1 d_1 + q_2 d_2 + q_3 d_3} \quad (1)$$

Плотность на негативе будет

$$D_n = D_0 - \gamma (d_1 q_1 + d_2 q_2 + d_3 q_3) \quad (2)$$

где D_0 — плотность для белого поля оригинала.

Выберем второй светофильтр (для маски) так, чтобы плотности красок в области его пропускания d'_1, d'_2, d'_3 удовлетворяли следующим условиям

$$d'_2 > d_2; d'_3 > d_3; d_1 < d'_1; \frac{d'_2}{d_2} = \frac{d'_3}{d_3} = p \quad (3)$$

(p — число произвольное)

Негативные плотности при фотографировании через новый фильтр будут

$$D'_{\kappa} = D_0 - \gamma'_1 (d'_1 q_1 + d'_2 q_2 + d'_3 q_3) \quad (4)$$

а плотности диапозитива:

$$D_n = \gamma'_2 (d'_1 q_1 + d'_2 q_2 + d'_3 q_3)$$

Складывая негатив с диапозитивом, получим:

$$D_{\kappa} + D_n = D_0 - [q_1 (d_1 \gamma_1 - d'_1 \gamma'_2) + q_2 (d_2 \gamma_1 - d'_2 \gamma'_2) + q_3 (d_3 \gamma_1 - d'_3 \gamma'_2)] \quad (5)$$

Подобрав гаммы так, чтобы

$$\frac{\gamma_1}{\gamma'_2} = \frac{d'_2}{d_2} = \frac{d'_3}{d_3} = p$$

мы обратим два последние члена равенства (5) в нуль, в то время как

$$d_1 \gamma_1 - d'_1 \gamma'_2 > 0$$

так как $d_1 > d'_1$, а $\gamma_1 > \gamma'_2$ и равенство (5) примет вид:

$$D_s = D_{\kappa} + D_n = D_0 - q_1 (d_1 \gamma_1 - d'_1 \gamma'_2) \quad (6)$$

т. е. плотность после маскирования оказывается функцией только q_1 . Таким образом задача цветоделения решена.

Фактически маскирование не дает полного исправления, так как в области пропускания фильтров спектральная плотность красок не остается вполне постоянной, а в случаях применения непрозрачных красок происходит нарушение закона Бэра.

Рассеивание света красками (мутность) приводит к тому, что плотность для смеси красок оказывается меньшей, чем следовало бы по этому закону. Расхождение с законом Бэра и аддитивностью плотностей будет тем больше, чем в больших количествах смешаны краски (цвет смеси, особенно для темных цветов, будет светлее, чем следовало бы по закону Бэра). Поэтому, если, применяя непрозрачные краски, определить величины d_1 , d_2 , d_3 по кривым поглощениям красок и рассчитать маскирование по приведенным формулам, то все цвета, получаемые смешением красок, окажутся светлее, чем нужно (недостаток красок) на такую величину, на которую эти смеси отличаются от того, что получилось бы, если бы рассеяния света не было. Такие переисправления представляя от собой крайне неприятные искажения цветов и их допускать ни в коем случае не следует. Лучше в подобных случаях соответственно уменьшить гамму маскирующего диапозитива, следствием чего явится неполное исправление наиболее чистых цветов (осо-

бенно тех, которые требуют всего лишь одной краски). Эти цвета остаются несколько загрязненными, что все же лучше переисправлений.

При умелом выборе светофильтров можно для маскирования каждого из негативов пользоваться диапозитивами, сделанными с негативов для двух других красок и, таким образом, для работы по методу масок оказывается достаточным трехкратное фотографирование, как и в обычном способе.

Практически негатив, снятый с синим фильтром, если красная краска имеет малое поглощение в длинноволновой части, не требует исправлений. Зеленый светофильтр при условии применения желтой краски с малым поглощением в зеленой части спектра требует, главным образом, исправления по синей краске (уничтожение прозрачностей, созданных поглощением этой краской зеленых лучей). Чтобы по желтой краске не требовалось исправлений, можно сдвинуть пропускание зеленого фильтра в желто-зеленую часть спектра. В этом случае негатив, снятый через красный фильтр, позволяет изготовить очень хорошую маску для „зеленого“ негатива.

В области пропускания синего фильтра (выделяющего желтую краску) соотношения поглощений пурпурной и синей красок обычно сильно меняются с длиной волны, а потому не трудно подобрать области пропускания синего и зеленого фильтров так, чтобы отношения плотностей синей и пурпурной красок были бы более или менее одинаковы. Это позволяет „маскировать“ синий негатив (для желтой краски) диапозитивом с „зеленого“ негатива.

Практический эффект метода масок часто бывает очень значительным и применение его следует горячо рекомендовать.

20. МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ КАЧЕСТВА ЦВЕТОДЕЛЕНИЯ

Главной причиной несовершенства цветопередачи в субтрактивных процессах является несовершенство наших красителей, применяемых в качестве субтракторов. Метод масок хотя и не разрешает полностью проблему идеальной цветопередачи, но практически дает довольно хорошее приближение к ней.

Рассматривая фотографическое воспроизведение некоторой системы цветов, можно установить следующие общие требования для правильного цветового воспроизведения (Юл, Yule).

1. Все цвета, составленные из компонентов цветового процесса, должны быть воспроизведены в тех же концентрациях этих компонентов, что и в оригинале.

2. Все цвета, имеющие одинаковую визуальную окраску, должны воспроизводиться одинаковой смесью трехцветных компонентов независимо от спектрального состава этих цветов.

Первое требование определяет собой условия фотографической передачи. Для его удовлетворения нужно:

а) чтобы серая шкала передавалась нейтрально-серой с правильной передачей тонов;

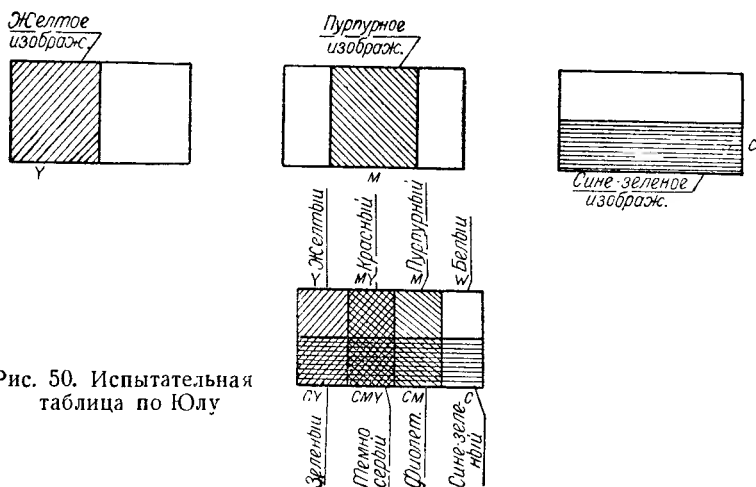


Рис. 50. Испытательная таблица по Юлу

б) исправленные с помощью масок цветоделенные негативы должны регистрировать только один из компонентов изображения. Это требование определяет эффективную спектральную чувствительность анализирующей системы, задаваемую условием;

в) эффективная спектральная чувствительность анализирующей системы должна быть линейным преобразованием смешения для синтезирующих первичных. Хотя несоблюдение условия в) может в некоторых случаях привести к неверной цветопередаче, гораздо более серьезные ошибки возникают при пренебрежении условиями а) и б), т. е. при отказе от применения масок.

Юл разработал эмпирический метод проверки выполнения всех этих условий, дающий одновременно возможность определения контраста масок, потребных для коррекции негативов.

Для применения метода Юла готовят с помощью красок или пигментов, применяемых в исследуемом процессе, цветную таблицу, состоящую из перекрывающихся друг друга полос трех компонентов изображения, как показано на рис. 50, и получают цветоделенные негативы та-

кой таблицы, применяя те же эмульсии, фильтры и освещение, что и для изучаемого процесса.

На каждом из этих негативов измеряют плотности цветных полей и полей серой шкалы. Для каждого из негативов строится характеристическая кривая, на абсциссах которой откладываются плотности серой шкалы оригинала, а на ординатах — плотности соответствующих мест негативов (рис. 51). С помощью такой характеристической кривой плотность любого цветного поля на негативе может быть выражена через плотности серой шкалы в виде так

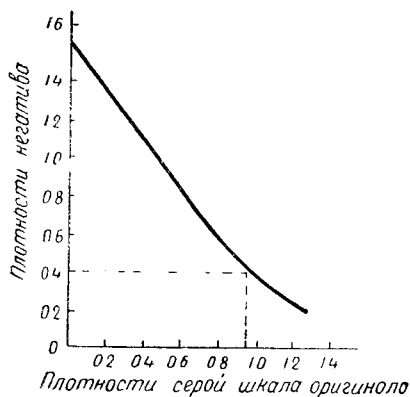


Рис. 51. График для определения цветовой плотности по Юлу

называемой „цветовой плотности“ (не смешивать с „цветовой плотностью“ по Мак-Адаму, определяемой колориметрически). Так например, если плотность красного поля на синем негативе была, положим, 0,4, то из характеристической кривой для этого негатива находим цветовую плотность этого поля, равную 0,93.

Результаты таких измерений могут быть представлены графически (рис. 52а).

Допустим для простоты, что серая шкала передана нейтрально-серой.

В оригинальной цветовой таблице каждый из компонентов изображения присутствует только в четырех из восьми цветных полей и притом в одинаковой концентрации.

То же должно быть, разумеется, и в репродукции. Это будет только в том случае, если для каждого из цветоделяющих фильтров четыре цветовые плотности будут высоки и равны между собой, а другие четыре — равны нулю.

Из рис. 52, а) видно, что на зеленом негативе красное и пурпуровое поля имеют слишком малую цветовую плотность, а синее и зеленое — слишком высокую. Это означает, что на цветной репродукции концентрация пурпурового красителя (который печатается с зеленого негатива) будет слишком высока для синего и зеленого и слишком низка для красного. На рис. 52, в) показаны отклонения от правильных величин цветовых плотностей, полученные путем вычитания идеальных из действительных значений.

Из этого рисунка видно, что для зеленого поля слишком велики красные и особенно зеленые плотности и что

зеленые тона будут в этом случае мало насыщены и иметь пурпуровый оттенок.

Для исправления этих ошибок в цветопередаче служит метод масок.

Этот способ производит тройной эффект:

1) понижение контраста цветоделенного негатива. Поэтому негативы должны быть проявлены до более высокого контраста (примерно, до $\gamma = 1,2 - 1,3$);

2) увеличение общей плотности негатива;

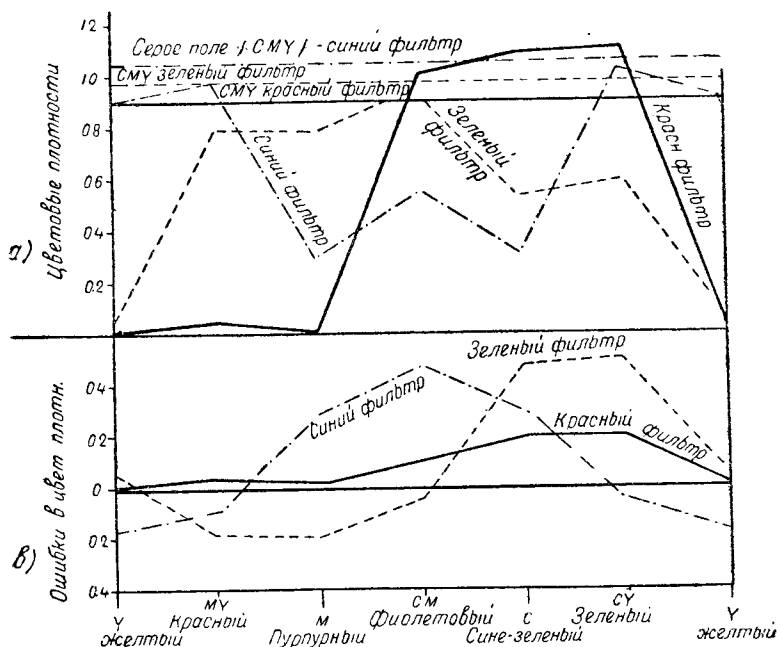


Рис. 52. График цветопередачи по Юлу

3) изменение соотношения между плотностями различных цветов и плотностями серой шкалы, т. е. изменение цветовых плотностей. В этом и заключается смысл применения масок.

Дальнейшим развитием и усовершенствованием способа Юла является метод определения цветоделения, предложенный Н. Д. Нюберггом и практически применяемый в лабораториях Ленфильма и Главфотопрома. Этот метод, дающий гораздо более широкую картину всего процесса цветопередачи в целом, будет подробно описан в журнале „Кинофотопромышленность“.

21. ДВУЦВЕТНЫЙ СИНТЕЗ

Если не требовать точной передачи всех цветов, а желать достаточно верно передать только цвета некоторых определенных объектов, то довольно хорошее приближение к оригиналу можно получить, избирая для синтеза только два первичных. Пользование двуцветным методом имеет то преимущество, что позволяет чрезвычайно упростить операции как съемки, так и воспроизведения цвета.

Если мы прибегаем к двуцветному способу репродукции, то выбор первичных для этой цели определяется не

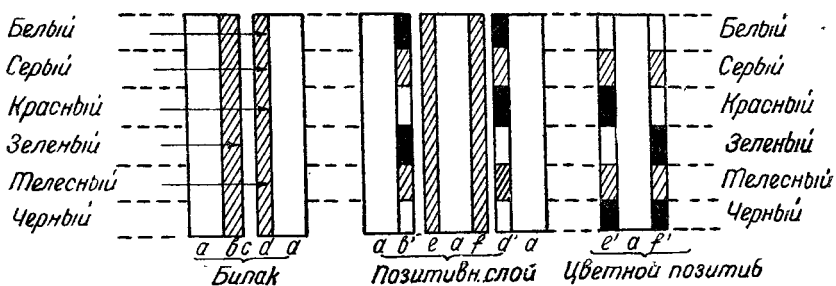


Рис. 53. Схема двуцветного синтеза

a—целлулоидная подложка; *b*—фронт-фильм, ортохроматическая эмульсия; *c*—оранжевый фильтровой слой; *d*—рюк-фильм, панхроматическая эмульсия; *b'* и *d'*—проявленный негатив; *e* и *f*—позитивный слой; *e'*—позитивный слой, вирированный в красно-оранжевый цвет; *f'*—позитивный слой, вирированный в сине-зеленый цвет

теоретическими соображениями, а конкретными практическими требованиями. При этом неизбежны некоторые компромиссы: удовлетворительная передача одних цветов вызывает очень плохое воспроизведение других и в каждом отдельном случае приходится в зависимости от обстоятельств выбирать ту или иную альтернативу.

Возможность двуцветной передачи основана на том, что существуют такие пары цветов, которые при аддитивном смешении дают белый цвет или же при субтрактивном синтезе — черный (дополнительные цвета). Как мы знаем, существует большое число таких пар, которые можно избирать в качестве первичных при двуцветном способе. Однако из практических соображений избирают такую пару, которая может дать наилучшую передачу обычных цветов: неба, листвы, тела и т. п. В таком случае мы должны выбрать пару: красно-оранжевый и сине-зеленый.

Схема двуцветного субтрактивного синтеза дается на рис. 53.

В таком случае вся область спектра от 580 до 400 $m\mu$ будет передана сине-зеленой, что весьма неправдоподобно. Лучшего соответствия с истиной мы можем добиться, подбирая сине-зеленый фильтр не дополнительным к красно-

оранжевому, а так, чтобы он поглощал и сине - фиолетовую часть спектра. Тогда сине - фиолетовая часть спектра будет передана как черная в результате субтрактивного смешения сине - зеленого с красно - оранжевым.

Воспроизведение спектра имеет однако лишь теоретический интерес. Оранжевые и желтые объекты, обладая весьма широкими полосами отражения, отражают много зеленого света. Поэтому эти объекты будут регистрироваться через оба фильтра, в результате чего желтая область будет воспроизведена равными количествами сине-зеленого и красно-оранжевого, т. е. передастся как серая. Это не может нас удовлетворить, поскольку желтый цвет является очень важным в телесных тонах. Хотя мы и не можем получить желтый путем смешения красно-оранжевого с сине-зеленым, но можем его имитировать близким к нему бледным розовато - оранжевым. Этого достигают тем, что передвигают область равного пропускания обоих съемочных фильтров, т. е. ту область, которая передается как серая, несколько дальше в зеленую часть, около 570—575 $m\mu$.

Реттеновские фильтры № 28 (красно - оранжевый) и № 40 (сине - зеленый) довольно хорошо подходят для этой цели (рис. 54). Следующая таблица указывает передачу основных цветов при двуцветном процессе:

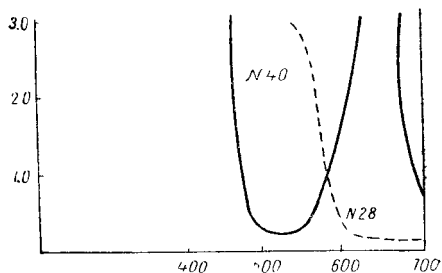


Рис. 54. Спектральное пропускание фильтров Реттена для двуцветной съемки № 28 красно-оранжевый фильтр; № 40 сине-зеленый фильтр

Цвет оригинала	Воспроизводится как
Белый	Белый
Серый	Серый
Черный	Черный
Красный	Красно-оранжевый
Оранжевый	Светлый красно-оранжевый
Желтый	Очень бледный розовато-оранжевый
Желто-зеленый	Серый
Зеленый	Сероватый зеленовато-синий
Сине-зеленый	Зеленовато-синий
Синий	Темный зеленовато-синий
Сине-фиолетовый	Очень темный зеленовато-синий
Фиолетовый	Черный
Пурпурный	Красновато-серый
Розовый	Серо-красно-оранжевый
Телесный	Розовато-лососинный
Лиственный	Серый синевао зеленый
Голубой	Бледный сине-зеленый

МЕТОДЫ И АППАРАТУРА ЦВЕТНОЙ СЪЕМКИ

1. КЛАССИФИКАЦИЯ СПОСОБОВ ЦВЕТНОЙ СЪЕМКИ

Задачей цветной съемки является получение цветоделенных негативов, плотности которых были бы пропорциональны потребному количеству первичных в каждой точке оригинала.

Цветоделенные негативные изображения должны строго совпадать друг с другом по размерам, так как в противном случае контуры полученных с них цветных изображений не смогут быть совмещены и дадут на окончательном отпечатке цветные каемки.

Такое совпадение может быть обеспечено лишь в том случае, если все три негатива экспонированы в одно и то же время и при том с одной и той же точки зрения.

Необходимость одновременной съемки очевидна для движущихся предметов. Если при съемке таких предметов три цветоделенных изображения получаются не одновременно, то на каждом из этих изображений объект будет находиться в другом положении относительно неподвижного фона, что повлечет за собой несовпадение контура и появление цветных каемок (временной параллакс).

Способы, которыми выполняется цветоделение, можно разделить на две большие группы в зависимости от того, какое число светочувствительных слоев требуется для выполнения цветоделения. Различают методы, требующие трех отдельных светочувствительных слоев (или только двух в случае двуцветных способов) и способы, в которых цветоделение совершается в пределах одного слоя.

Наиболее многочисленные способы относятся к первой группе. Три светочувствительных слоя, в которых получают цветоделенные изображения, могут быть даже нанесены на одну подложку и составлять одно целое, но

тем не менее представляя собой три независимых фотографических слоя, дающих три скрытых изображения.

Способы цветоделения с применением трех (или двух) светочувствительных слоев. Этими способами мы должны получить три отдельных изображения, каждое из которых регистрирует один из первичных. Достигается оно двумя принципиально различными путями.

В первом из них мы достигаем требуемого цветоделения тем, что расщепляем световой пучок, исходящий из объекта на столько частей, сколько первичных применяется при анализе (два или три), так чтобы каждая из этих частей давала действительное изображение объекта. С помощью соответствующих фильтров на пути этих расщепленных пучков мы можем выделить требующиеся нам первичные.

При втором способе мы получаем только одно действительное изображение объекта, и цветоделение совершается с помощью трех светочувствительных слоев с разной спектральной чувствительностью, помещенных друг за другом. Свет падает сначала на первый слой, чувствительный только к синим лучам, который их регистрирует. В этот же слой включен светофильтр, поглощающий синие лучи и не дающий им возможности попасть на второй светочувствительный слой, помещенный за первым. Второй слой чувствителен к зеленым лучам и регистрирует только зеленую часть спектра. Подобным же образом третий панхроматический слой, расположенный позади двух первых, регистрирует красные лучи.

Этот метод представляет собой полную аналогию с субтрактивным синтезом цвета. Как и в случае субтрактивного синтеза, каждый из светочувствительных слоев вычитает из смеси первичных один компонент, используя его для построения изображения, и пропускает остальные два в неизмененном виде. Поэтому такой способ цветоделения можно назвать субтрактивным. Мы увидим далее, что он неизбежно связан с субтрактивным же способом воспроизведения.

Рассмотрим теперь подробнее различные способы, с помощью которых осуществляются на практике эти два, указанные нами, принципы цветоделения.

Цветоделение путем разделения светового пучка. Изображения при этом способе могут быть получены, либо помещая последовательно один за другим в одной и той же фокальной плоскости три светочувствительных слоя с соответствующими цветоделяющими светофильтрами, либо экспонируя их одновременно, но в разных фокальных плоскостях, образуемых расщепленными световыми пучками.

При этих способах необходимо считаться с явлениями пространственного и временного параллакса, которые отсутствуют в способах, использующих для цветоделения только одно действительное изображение объекта.

2. ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНАЯ СЪЕМКА

Наиболее простым способом такого цветоделения является способ последовательной съемки, при котором цветоделенные негативы получаются путем последовательной съемки объекта через каждый из анализирующих фильтров. Этот способ является наиболее простым и не требующим специальных приспособлений к съемочной камере, но не допускает съемки движущихся предметов. Чтобы по возможности сократить время, требующееся в этом способе для смены кассет и фильтров, прибегают к устройству так называемой „скользящей кассеты“. Это приспособление представляет собой длинную приставку в задней части фотокамеры, внутри которой может плавно передвигаться рама, несущая на себе три съемочных светофильтра и специальную длинную кассету, в которую закладываются три пластинки, каждая за соответствующим фильтром.

Передвижение этой рамы автоматически стопорится, когда соответствующая пластинка и фильтр становятся в положение для съемки. После экранирования скользящая кассета передвигается в следующее положение для экспонирования второй пластинки и так далее.

Манипуляции при последовательной съемке весьма удобно производятся с помощью миниатюрных камер (ФЭД, Лейка, Контакт и др.) благодаря чрезвычайно удобной смене пленки. Фильтры в этом случае помещаются перед объективом в специальной передвигающейся насадке.

Работа со скользящей кассетой значительно ускоряется при применении автоматической скользящей кассеты, в которой передвижение кассеты и экспонирование пластинок совершается автоматически. Конструкция такой кассеты разработана в НИЛ ГУФП.

Сама кассета, неразрывно связанная с камерой, представляет собой диск, в котором имеются пазы для помещения кассет с пластинками и светофильтров перед ними. Этот диск с помощью часового механизма, связанного с затвором объектива, может вращаться, подводя к фокальной плоскости по очереди каждую из трех пластинок. Установив с помощью специального регулятора время выдержки для каждой пластинки, пускают в ход механизм кассеты, и она начинает вращаться, подводя одну за другой пластинки на требуемое время. Таким образом все операции съемки совершаются автоматически.

3. ЦВЕТОДЕЛЯЩИЕ КАМЕРЫ

Указанные выше неудобства последовательной съемки устраняются при способах, использующих расщепление светового пучка на три пространственно разделенные части.

Такое расщепление можно получить, производя съемку с помощью трех близко расположенных объективов. Однако в этом случае мы неизбежно будем иметь дело с явлением пространственного параллакса, возникающим потому, что мы снимаем различные планы объекта под различными углами. В результате этого три полученных нами цветоделенных изображения не будут находиться в геометрическом соответствии друг с другом и при наложении друг на друга не совпадут, дав по краям цветные каемки. Величина этого параллактического смещения, т.е. ширина цветной каемки, дается уравнением

$$P = \frac{F \cdot D}{R}$$

где P —параллактическое смещение, F —фокусное расстояние объективов, R —расстояние между ними и D —расстояние от камеры до объекта съемки.

Величина параллактического смещения неодинакова для различных планов снимаемого объекта, что весьма затрудняет ее компенсацию. Поэтому, в настоящее время почти исключительно используются такие способы расщепления, в которых разделению подвергается пучок света, прошедший через один объектив.

Ранее применявшиеся камеры этого типа использовались для получения изображений разные части одного и того же объектива: камеры Пенроз (Penrose) и Иоз-Пе (Jos - Pe).

В этих камерах световой пучок, проходящий через объектив, разделяется пространственно на три части таким образом, что каждый из этих разделенных пучков исходит из разных частей входного зрачка объектива (середина и края) (рис. 55).

В некоторых камерах это осуществляется с помощью двух скошенных стеклянных призм, в других же это достигается двумя наклоненными друг к другу зеркалами.

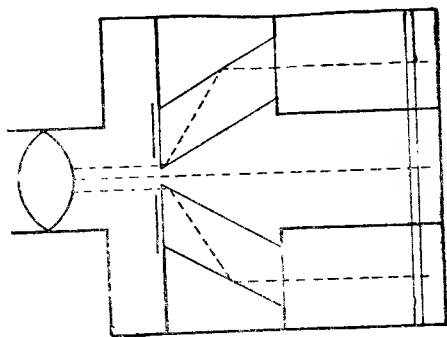


Рис. 55. Схема расщепления света в камере Пенроз

Анализирующие светофильтры, как и во всех случаях цветоделящих камер, помещаются непосредственно перед пластинкой.

Помимо того, что изображения, даваемые различными частями объектива, не вполне идентичны по своим оптическим свойствам (зональные aberrации и т. п.), эти камеры не свободны от пространственного параллакса, вызываемого тем, что несмотря на незначительное расстояние между тремя действующими частями объектива все же мы имеем дело с тремя различными точками зрения.

Кроме того по необходимости в этих камерах приходится использовать только сравнительно небольшую часть действующего отверстия объектива, что приводит к значительному уменьшению эффективной светосилы.

В силу этих соображений эти камеры почти полностью вытеснены другими, основанными на ином принципе светорасщепления.

4. РАСЩЕПЛЕНИЕ СВЕТА С ПОМОЩЬЮ ПОЛУПРОЗРАЧНЫХ ЗЕРКАЛ

Примером камер такого типа может служить камера, предложенная Бутлером (Butler, 1905 г.). Схема этой камеры дана на рис. 56.

Лучи, исходящие из объектива 1, попадают сперва на зеркало 2, стоящее под углом в 45° к оптической оси.

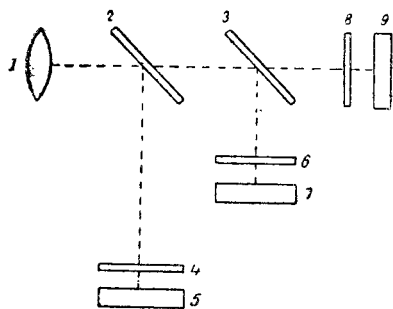


Рис. 56. Схема камеры Бутлера

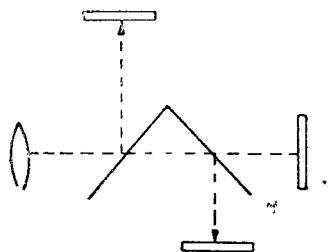


Рис. 57. Схема камеры Нэш

Отражающий слой этого зеркала настолько тонок, что пропускает сквозь себя большую часть падающего на него света и только около одной трети света отражается в сторону, где помещается пластинка 5 с соответствующим светофильтром 4. Свет, прошедший через зеркало 2, попадает на зеркало 3, стоящее под тем же углом. Это зеркало посеребрено таким образом, что примерно половину света отражает в направлении пластинки 7, а оставшаяся часть проходит через зеркало и попадает на пластинку 9.

Другая конструкция цветоделящей камеры, в которой зеркала расположены под углом друг к другу (рис. 57), предложенная Нашэ (Nachet, 1895 г.), обладает некоторыми оптическими преимуществами по сравнению с системой Бутлера и принцип ее почти исключительно используется в нынешних камерах.

Такого же разделения светового пучка можно достигнуть и с помощью системы призм.

Камеры, в которых применяются полупрозрачные зеркала или призмы, совершенно свободны от параллакса, поскольку для каждого изображения используется полностью все действующее отверстие объектива. Однако конструкция таких камер представляет значительные оптические трудности.

Для получения одинаково резких и вполне совпадающих по величине изображений необходимо, чтобы оптические пути всех трех световых пучков были совершенно одинаковы. При этом следует учесть, что луч, попадающий на пластинку 5 (рис. 56), испытывает одно отражение от зеркальной поверхности, в то время как луч для пластинки 7, помимо отражения от зеркала 3, проходит еще через стекло зеркала 2, а луч для пластинки 9 проходит через две стеклянные пластинки зеркал 2 и 3.

Уравнивания оптической длины путей можно достигнуть либо соответствующим изменением геометрической длины, либо введением на пути луча с меньшей оптической длиной плоскопараллельной стеклянной пластинки соответствующей толщины.

В качестве такой компенсирующей пластинки может служить цветоделящий светофильтр, толщина которого в этом случае подбирается соответствующим образом.

Довольно толстые стеклянные пластинки зеркал, стоящие к тому же под углом к оптической оси объектива, вызывают весьма значительные аберрации. Это может привести к уменьшению разрешающей способности объектива и неодинаковой величине трех отдельных изображений.

Все эти недостатки могут быть почти целиком устранены применением специально рассчитанных объективов, однако в большинстве цветоделящих камер, применяемых для цветной фотографии, используются обычные объективы.

В силу этого мы неизбежно должны считаться с фактом некоторого ухудшения оптических свойств изображения и с неполным совпадением изображений по величине. В особенности это сказывается на заднем изображении, которое образуется за счет лучей, прошедших через оба зеркала, в то время как в построении остальных двух изображений участвуют отраженные лучи. Так например, для камеры Вивекс (мод. А) расхождения в размерах изображения на задней пластинке и на боковых варьируют от 0,05 мм в

центральных частях до 0,375 мм на краях изображения (по данным фирмы).

Для компенсации последнего недостатка пользуются специальными рамками, вставляемыми в увеличитель и позволяющими при проекционной печати исправить эту масштабную разницу.

Неудобства применения толстых стеклянных зеркал сказываются еще в том, что вследствие отражения света и от задней (непосеребренной) стороны зеркала могут возникнуть двойные изображения. Для устранения этих паразитных изображений заднюю сторону зеркала

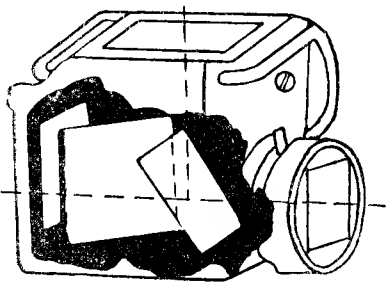


Рис. 58. Схема камеры Вивекс

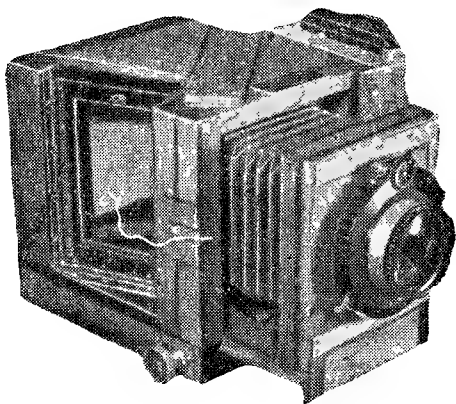


Рис. 59. Внешний вид камеры Бермполь

покрывают тонким прозрачным слоем, окрашенным в цвет, дополнительный цвету соответствующего фильтра.

Так, в камере английской фирмы Вивекс (Vivex), схема которой приведена на рис. 58, переднее зеркало, отражающее лучи вверх на зеленый фильтр, окрашено сзади в сине-фиолетовый цвет, поглощающий зеленые лучи, могущие дать паразитное изображение на зеленой пластинке.

Второе заднее зеркало в силу тех же соображений окрашено с задней стороны в желтый (минус-синий) цвет.

Эти окрашенные зеркала действуют на световой пучок подобно светофильтрам и при расчете анализирующих светофильтров необходимо учесть поглощение в таких зеркалах. Так например, в камере Вивекс перед синей пластинкой светофильтр вообще отсутствует (он заменен просто чистой стеклянной пластинкой, уравнивающей оптический путь луча), так как его действие вполне заменяется окрашенным слоем первого зеркала. По подобному же принципу устроена и камера Бермполь (Bermpohl) (рис. 59).

Все упомянутые недостатки, связанные с применением толстых зеркал, привели к устройству камер, в которых зеркалами служат соответствующим образом посеребрен-

ные тонкие (около 0,01 мм) пленки из целлулоида или ацетилцеллюлозы, туго натянутые на раму, чтобы образовать совершенно плоскую поверхность.

Примером такой камеры может служить камера фирмы Рекмейер (Reckmeier) (рис. 60) для пластинок $6,5 \times 9$ см. В последнее время камеры такого типа изготавливаются заводом „Геодезия“ в Москве.

Камеры с пленочными зеркалами свободны от оптических недостатков, о которых речь шла выше, но, как показал опыт пользования ими в СССР, весьма чувствительны

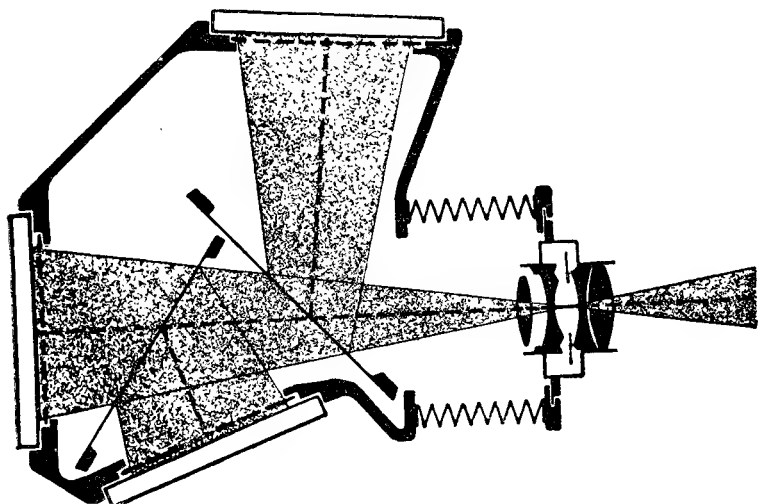


Рис. 60. Схема камеры Рекмейер

ко всякого рода механическим воздействиям (тряска и т. п.), к переменам температуры и влажности.

Из иностранных цветоделящих камер, помимо уже названных, следует упомянуть о камере Ройаль (Royal), в которой применяются полупосеребренные толстые зеркала, окрашенные в массу и служащие светофильтрами, и камеру Вивекс № 1, в которой применяются пленочные зеркала.

Значительными преимуществами (поскольку можно судить по описанию) обладает камера Девин (Devin), использующая пленочные зеркала (толщиной 0,02 мм).

Камеры, в которых для расщепления служит система призм, в общем свободны от недостатков обоих типов зеркальных камер, но обязательно (вследствие большой толщины призм) требуют специально рассчитанных объективов. Кроме того изготовление таких камер для форматов, превышающих $4,5 \times 6$ см или $6,5 \times 9$ см, крайне усложняется затруднениями, возникающими при изготовле-

нии призм соответствующего размера. Вес этих камер очень велик вследствие тяжести самого стеклянного блока и необходимости в силу этого достаточно массивного основания для него.

5. ТРЕБОВАНИЯ К ЦВЕТОДЕЛЯЩЕЙ КАМЕРЕ

Светорасщепляющая система таких камер рассчитана для определенного объектива и поэтому делает невозможным применение сменной оптики с разным фокусным расстоянием, передвигающейся объективной доски и других приспособлений, в которых часто нуждается фотограф.

От этих ограничений свободны камеры со скользящей кассетой обыкновенного или автоматического типа. Поэтому такие камеры (в особенности с автоматической скользящей кассетой) очень удобны для съемок натюрмортов (например, для иллюстраций, реклам и т. п.), архитектурных съемок и т. п., где часто приходится использовать оптику разного фокусного расстояния (широкоугольники, телеобъективы) и передвижение объективной доски.

Поле деятельности цветоделяющей камеры — это главным образом съемки движущихся объектов.

Идеальная цветоделящая камера должна удовлетворять следующим требованиям:

Три цветоделенных изображения должны быть строго одинаковой величины независимо от расстояния объекта до камеры и движения объекта.

Каждый негатив должен быть вполне резким.

Каждый негатив должен быть равномерно экспонирован по всей своей площади.

Общая экспозиция, требующаяся для цветоделенной съемки, должна наиболее приближаться к монохромной.

Оптическая система должна допускать работу при больших отверстиях, вплоть до $F/2$.

Должно быть возможно применение объективов разного фокусного расстояния.

Светорасщепляющая система должна быть прочной и не требовать особенно деликатного обращения.

Камера должна быть легкой и негромоздкой.

Камера должна обладать уклонами задней доски и подъемом объективной.

Фокусировка должна совершаться с помощью связанного с объективом дальномера. В то же время должна быть возможность наводки и по матовому стеклу.

Ни одна из существующих ныне камер не удовлетворяет полностью всем этим условиям.

Для определения пригодности камеры производят следующие испытания:

Фотографируют лист белой бумаги, освещенный по возможности равномерно (рассеянный дневной свет или т. п.) и измеряют плотности в разных местах полученных негативов (следить за равномерным проявлением негатива).

Фотографируют сетку из тонких линий на белом фоне и убеждаются, что все три негатива вполне резки по всей площади. Измеряют с помощью компаратора размеры изображения на всех трех негативах.

Снимают объект, имеющий значительное протяжение в глубину (например, улицу), и определяют глубину резкости.

Определяют цветоделение.

Субтрактивные способы цветоделения, заключающиеся в помещении на пути луча последовательно трех светочувствительных слоев с разной спектральной чувствительностью, могут быть реализованы двумя путями. Первый путь состоит в использовании независимых слоев, нанесенных на отдельные подложки, приводимых при съемке в тесный контакт друг с другом, но разделяющихся для обработки.

Другой путь осуществляется при применении многослойных материалов, в которых три светочувствительных слоя с различной спектральной чувствительностью политы друг на друга на одной и той же подложке.

Оба эти метода цветоделения, хотя и весьма сходны между собой, представляют, однако, весьма значительные отличия в способах дальнейшей цветной обработки.

6. ТРИПАК И БИПАК. ?

Цветоделение с помощью отдельных, сложенных друг с другом слоев. Примером светочувствительного материала, применяющегося для такого рода цветоделения, может служить так называемый трипак. Трипак, выпускаемый некоторыми заграничными фирмами, представляет собой сложенные вместе три фотопленки. Передняя (считая от объектива) пленка трипака обращена своей целлулоидной стороной к объективу и полита несенсибилизированной эмульсией, чувствительной только к синим и фиолетовым лучам. К эмульсионной стороне этой пленки (фронт-фильм) плотно прижимается своей эмульсионной стороной вторая пленка (центр-фильм) с ортохроматической эмульсией. Между обеими этими пленками находится тончайший желатиновый слой (обычно нанесенный на эмульсионный слой первой пленки), окрашенный в желтый цвет и препятствующий, следовательно, синим лучам действовать на центр-фильм. Задняя сторона центр-фильма в свою очередь несет на себе пурпуровый окрашенный слой, задерживающий зеленые лучи. Задняя пленка (бек-

фильм, рюк-фильм) полита панхроматической эмульсией и плотно прижимается при съемке к задней стороне центр-фильма.

Передняя пленка трипака регистрирует синюю компоненту, средняя — зеленую и задняя — красную.

Такого рода субтрактивное цветоделение не требует специальной камеры и поэтому могло бы быть чрезвычайно простым и удобным способом, если бы не существеннейшие недостатки, которыми обладают такие материалы.

Прежде чем достигнуть средней пленки трипака, свет должен пройти сквозь эмульсионный слой фронт-фильма. Фотографическая эмульсия является мутной средой и рассеивает свет, проходящий через нее. Поэтому изображение на средней пленке будет не вполне резким и несколько диффузным. Еще в большей степени это наблюдается на задней пленке, свет на которую попадает после прохождения через два эмульсионных слоя. Нерезкость заднего изображения еще усугубляется тем, что эмульсионная сторона бек-фильма прилегает к целлулоидной подложке средней пленки и отстоит от плоскости изображения на фронт-и центр-фильме на толщину целлулоидной подложки.

Значительная нерезкость заднего (красного) негатива является особенно нежелательной, потому что позитив, печатаемый с этого негатива (синий позитив) должен быть окрашен в синий цвет. Так как синее изображение является наиболее темным, то его нерезкость будет особенно заметна и сильно сказываться на готовом изображении.

Поскольку диффузность изображения на средней и задней пленке трипака вызвана главным образом рассеянием света в эмульсионных слоях, лежащих впереди (диффузные ореолы вокруг светлых мест изображения), она делается особенно заметной при передержках.

Это обстоятельство в связи с необходимостью иметь очень тонкие эмульсионные слои на передней и средней пленке (для уменьшения рассеяния и повышения прозрачности слоя) очень сильно уменьшает широту трипака.

В силу этих обстоятельств трипак может употребляться только для специальных целей, как например съемка портретов мягкофокусной оптикой, где некоторая диффузность изображения даже желательна. И в этих случаях не рекомендуется применять трипак для размеров меньших, чем 13×18 см, так как негативы, полученные на трипаке, вследствие своей нерезкости не выносят сколько-нибудь значительного увеличения.

Аналогичный принцип используется и для двуцветной съемки в виде так называемого бипака, т.е. двух пленок, ортохроматической и панхроматической, сложенных эмульсиями друг к другу.

В этом случае нерезкость заднего изображения будет гораздо меньше, чем для бек-фильма трипака, и для неответственных съемок ею можно пренебречь.

Принимая во внимание несовершенство двуцветного процесса, можно пожертвовать небольшой нерезкостью изображения за счет большей простоты и удобства, достигаемого применением бипака.

Большинство описанных выше недостатков трипака и бипака можно избежать, применяя очень тонкие светочувствительные слои, политые друг на друга на общей подложке.

7. МНОГОСЛОЙНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

Изготовление таких светочувствительных материалов встречает большие затруднения не только потому, что здесь приходится поливать друг на друга три тончайших эмульсионных слоя с толщиной каждого из них около 0,005 мм и притом с двумя промежуточными слоями окрашенной желатины (толщиной порядка 0,001 мм), играющими роль светофильтров.

Основная трудность лежит в том, что все эти три слоя неразрывно связаны друг с другом, и весь дальнейший процесс должен быть рассчитан на их совместную обработку. Это вынуждает прибегать к особым методам получения цветного изображения, которые являются специальными именно для такого способа цветоделения.

8. КОМБИНИРОВАННЫЕ СПОСОБЫ ЦВЕТОДЕЛЕНИЯ

Наряду с описанными в этом разделе способами цветоделения существуют методы, представляющие собою комбинацию принципов, положенных в основу I и II групп способов.

Так, можно отделить зеленое изображение от синего и красного с помощью оптического расщепления, а синий от красного — путем субтрактивного цветоделения.

Примером такого способа может служить способ Техвиколор, широко используемый в цветной кинематографии (рис. 61). Свет, исходящий из объектива, разделяется полупосеребренным зеркалом на два луча. Один из них, проходя через зеленый фильтр, попадает на ортохроматический слой, регистрирующий зеленый компонент. Другой луч, освобожденный от зеленой части с помощью пурпурового фильтра, попадает на бипак, передняя пленка которого несет несенсибилизированную эмульсию (чувствительную только к синим лучам) и желтый фильтровый слой, а задняя пленка — панхроматическую эмульсию, регистрирующую красную составляющую.

Можно поступать и иначе, помещая в одном пучке панхроматическую пленку за красным фильтром, а в другом — бипак, составленный из передней несенсибилизированной и задней ортохроматической пленок. Этот тип расположения имеет некоторые преимущества в смысле несколько большей резкости изображения, обусловленной тем, что „красный“ негатив, дающий синее изображение, в этом случае является вполне резким и свободным от всякой диффузности.

Значительный выигрыш в требуемой выдержке можно получить, если один из пучков будет падать на несенси-

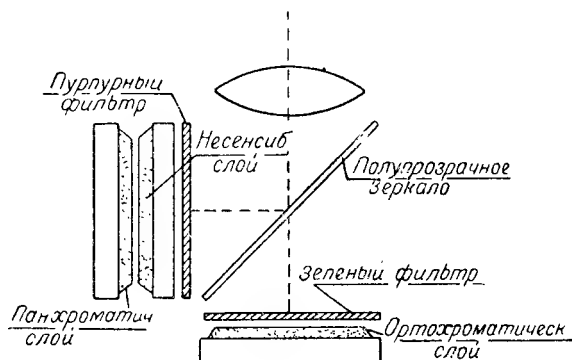


Рис. 61. Схема комбинированного способа цветоделения „Техниколор“

билизованную эмульсию (синий негатив), а другой на бипак, передняя пленка которого ортохроматическая с красным фильтровым слоем, а задняя — панхроматическая. Для удаления синих лучей перед таким бипаком помещается желтый фильтр.

При комбинированном способе цветоделения конструкция съемочной камеры значительно упрощается, так как в этом случае необходимо только одно полупрозрачное зеркало. Поэтому такие камеры (принцип которых был предложен впервые Бенетто в 1897 г.) очень удобны для любительских и даже для таких профессиональных съемок, в которых не требуется высшей степени резкости изображения.

Из иностранных камер, использующих этот принцип, можно назвать американскую камеру Кертис с полупрозрачным тонким пленочным зеркалом. Отраженные лучи регистрируются на синей пластинке, а прошедшие через зеркало — на бипаке. Камера снабжена уклонами задней доски и подъемом объективной части.

КРАСНЫЙ СВЕТ

БЕЛЫЙ СВЕТ

ПРОЯВЛЕНИЕ

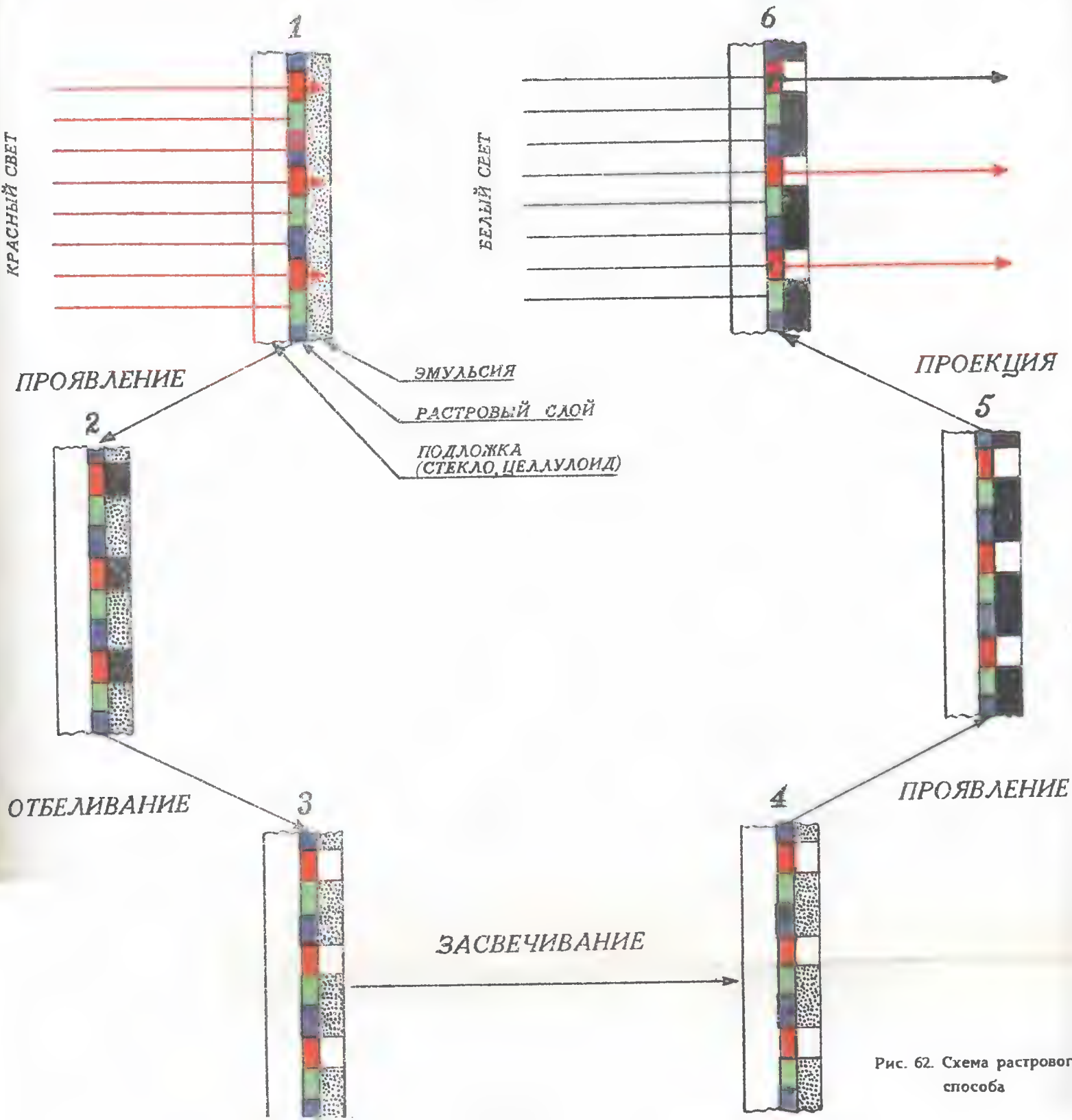
ПРОЕКЦИЯ

ОТБЕЛИВАНИЕ

ПРОЯВЛЕНИЕ

ЗАСВЕЧИВАНИЕ

Рис. 62. Схема растрового способа



9. РАСТРОВЫЕ СПОСОБЫ

Единственное, практически осуществленное решение задачи цветоделения в одном светочувствительном слое, было найдено братьями Люмьер (по идее Дюко-де-Горона) в виде так называемого растрового способа.

Он основан на том принципе, что поверхность, равномерно покрытая надлежащим образом подобранной смесью микроскопически малых прозрачных зерен красного, зеленого и синего цветов, кажется нам нейтрально серой. Здесь мы имеем случай аддитивного смешения цветов, описанный нами в главе III под названием пространственного смешения или смешения пуантели.

Если в некотором месте такой поверхности закрыть каким-нибудь образом все зерна одного сорта, например синие, то равновесие нарушится, и цвета оставшихся зерен в результате аддитивного смешения дадут некоторый смешанный тон, в нашем случае — желтый. Таким образом можно получить все цветовые оттенки, возникающие при аддитивном смешении трех основных цветов, выбранных для окраски наших зерен.

Братьями Люмьер был разработан метод, основанный на этом принципе, в котором упомянутое закрывание зерен того или иного цвета совершается автоматически в результате фотографического процесса.

Рассмотрим на простом примере, схематически изображенном на рис. 62, процесс получения цвета по этому способу. Пусть нашей задачей является воспроизведение красного цвета.

Красные лучи, исходящие из объекта, попадают прежде всего на слой прозрачных зернышек, окрашенных в основные цвета: синий, зеленый и красный, так называемый растр. Эти зернышки могут быть расположены либо в беспорядке или же сгруппированы в определенный узор, но во всяком случае их количества и размеры должны быть подобраны таким образом, чтобы растр имел по возможности нейтрально серый цвет.

На помещенную за ним панхроматическую эмульсию растр действует подобно обычным трехцветным анализирующим фильтрам. В нашем случае красные лучи будут пропущены только красными элементами растра 1 и после проявления в этих местах отложится черное металлическое серебро 2.

В этом виде мы имеем дело с негативным изображением, в котором нужные нам красные зерна закрыты металлическим серебром. Чтобы обратить это изображение в позитивное, удобнее всего прибегнуть к процессу обращения 3, который путем растворения выделившегося серебра, за-

свечивания оставшегося бромистого 4 и вторичного проявления приведет нас к позитивному изображению 5, в котором синие и зеленые зерна закрыты металлическим серебром, а красные — свободны.

Рассматривая такой позитив в белом проходящем свете 6, мы увидим красную окраску, так как свет мог пройти только через красные зерна. Размеры растровых частиц подобраны таким образом, что лежат ниже предела различаемости глаза, и мы не в состоянии воспринять зернистости изображения.

Таким образом описанный здесь принцип трехцветного растра позволяет действительно осуществить цветоделение в пределах одного светочувствительного слоя, используя аддитивное пространственное смешение.

Различные варианты технического осуществления этого способа будут описаны в главе XI, где и будет дана более подробная их оценка.

Основанный на принципах аддитивного смешения растровый способ обладает всеми теми преимуществами в смысле цветопередачи, которые присущи этому способу синтеза.

Как и во всяком аддитивном методе возникновение цветов в растровом способе связано с сильной потерей светлоты и поэтому он может быть применен только для изображений, рассматриваемых напросвет (диапозитивы).

Размножение снимков, сделанных по растровому способу, тоже представляет значительные трудности.

ГЛАВА V

ТЕХНИКА ЦВЕТНОЙ СЪЕМКИ

1. ВЫБОР НЕГАТИВНОГО МАТЕРИАЛА

Вопрос о выборе негативного материала для цветной съемки с чисто практической стороны состоит в том, чтобы из имеющихся на рынке типов негативного материала выбрать наиболее подходящие сорта.

Основные требования к спектральной чувствительности негативных материалов для трехцветной фотографии сводятся в основном к достижению возможно более высокой дополнительной чувствительности и равномерной сенсбилизации без провала или с незначительным провалом в зеленой части. Чувствительность пластинок при этом не должна простираться слишком далеко в красную часть—не дальше 680—700 $m\mu$.

При повышенной чувствительности к красному легко могут произойти искажения цветопередачи, вызываемые главным образом тем, что глаз обладает весьма малой чувствительностью к темнокрасным лучам и обычно не замечает примеси их в окраске предметов (например, зелени). Напротив, в репродукции вследствие несовершенства наших красок эти предметы могут передаваться более светлыми и, следовательно, более заметными.

Из прочих фотографических качеств наиболее важным является требование независимости контраста от длины волны. Однако в распоряжении эмульсионеров еще не имеется средств для его выполнения, и мы принуждены поэтому довольствоваться подбором наиболее подходящих из существующих эмульсий. Большая широта эмульсии не имеет первостепенного значения, так как малая широта позитивного материала не дает возможности уместить ее в область пропорциональной передачи бумаги. В черно-белой фотографии мы обычно используем гораздо большую область

характеристической кривой позитива, чем в цветной, где мы вынуждены держаться в границах области пропорциональной передачи.

В силу этих же соображений от негативного материала не требуется высокой контрастности и значительных максимальных плотностей, тем более что проявление ведут обычно в довольно мягком, медленно работающем проявителе. Только при применении способа масок приходится получать негативы с повышенным контрастом.

Непременным условием для негативного материала является хорошая противоореольность, поскольку даже очень слабые ореолы делаются весьма заметными в цветном изображении.

Несмотря на громадный выбор негативного материала удовлетворить все поставленные выше требования нелегко. В нижеследующей таблице сопоставлены характеристики некоторых советских и иностранных материалов, рекомендуемых для цветной фотографии.

Фирма	Название пластинок	№ эмульсии	Чувствит. по Х. и Д.	τ_8 мин.	D_0	Эффективная чувствительность	
						Желт. фильтр	Красн. фильтр
ГУФП	Панхром для трехцветной фотографии (трихром)	6989	1250	0,90	0,21	42%	12%
Perutz	Peromnia	29235	1100	0,78	0,28	32%	8%
Agfa	Isopan für Dreifarben-auszüge	FC1102	1700	1,7	0,38	59%	14%

В том случае, когда пластинки применяются для съемки с помощью цветоделющих камер, то, поскольку выдержка для всех трех пластинок является одинаковой, необходимо выбрать их таким образом, чтобы чувствительность под всеми тремя фильтрами была одинаковой. Обычно этого добиваются соответствующим изменением плотности фильтров и коэффициента отражения зеркал.

При съемке на пластинках разного типа с различной спектральной чувствительностью при выборе негативного материала исходят из применяемой системы камеры. Распространенная комбинация состоит из панхроматической пластинки за красным фильтром, ортохроматической—за желтым и несенсибилизированной—без всякого фильтра или за очень слабым фиолетовым.

Нередко пользуются комбинацией двух ортохроматических пластинок с желтым и синим фильтрами и панхроматической с красным фильтром. В этом случае требуется особенное внимание к надлежащему подбору чувствительностей отдельных пластинок. Обычно, чувствительность

красной пластинки выбирается наибольшей, а синей — наименьшей.

В настоящее время в НИКФИ и в научно-исследовательской лаборатории Главфотопрома с успехом проводятся опыты по изготовлению советских пластинок для цветных съемок. Пробные партии таких пластинок (несенсибилизированной, ортохроматической и панхроматической), изготовленные на экспериментальной установке НИКФИ, показали прекрасные качества, несколько не уступающие лучшим образцам зарубежных материалов.

2. БИПАК И ТРИПАК

Пленка бипак, разработанная в Научно-исследовательском кинофотоинституте, представляет собой две пленки, сложенные эмульсионными сторонами друг к другу, и выпускается промышленностью как в виде кинопленки, так и в виде форматной фотопленки.

Передняя пленка — ортохроматическая и несет на эмульсионной стороне тонкий фильтровый слой, поглощающий

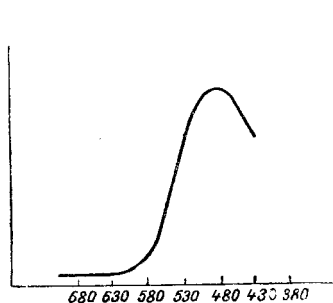


Рис. 63. Спектральное поглощение фильтрового слоя бипака НИКФИ

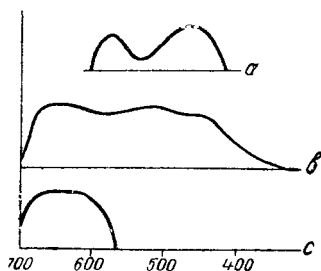


Рис. 64. Спектральная чувствительность бипака НИКФИ

а — спектральная чувствительность передней пленки; *б* — спектральная чувствительность задней пленки; *в* — спектр, снятый на заднюю пленку через переднюю

синие и зеленые лучи. Кривая поглощения этого слоя приведена на рис. 63. Благодаря этому слою на задней панхроматической пленке запечатлеваются только красные и оранжевые лучи, как это видно из рис. 64.

Сенситометрические характеристики этих пленок для образцов № 405 и 344 приведены в таблице:

	Чувствительность	Широта	γ	Вуаль	<i>D</i>
Передняя пленка	450	1:32	0,7	0,14	1,54
Задняя пленка	350	1:64	0,95	0,20	2,30

Как видно, величина γ для обоих этих слоев различна и поэтому следует вести проявление таким образом, чтобы обеспечить одинаковый контраст негативов.

При съемке на бипаке НИКФИ для расчета выдержки полагают общую чувствительность, равной 350 X. и Д. для съемки с дневным светом и 200 X. и Д. для полуваттного света (с компенсационным фильтром).

Резкость изображения при съемке на бипаке уменьшается. Для иллюстрации этого явления может служить рис. 65 *a, b*, на котором показана регистрограмма копии тонкого линейного раstra при прямом контакте с задней пленкой бипака и через переднюю пленку. В последнем случае (рис. 65 *b*) сильно понижается контраст между темными линиями и светлыми промежутками между ними, которые засвечиваются светом, рассеянным в передней пленке.

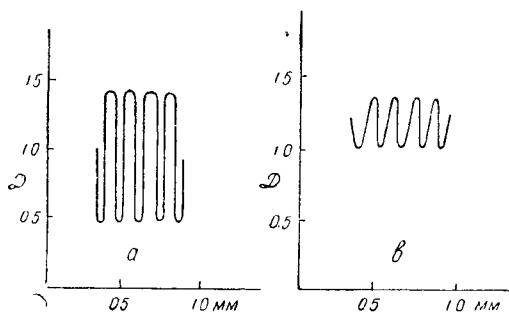


Рис. 65. Резкость бипака

Применение трипака дает возможность получить самым простым способом три цветоделенных негатива при одновременной съемке. Однако недостатки трипака, о которых мы говорили выше (значительная диффузность заднего изображения, печатающегося синей краской и др.), де-

лают его применимым только в особых случаях.

Трипак, выпускаемый американской фирмой Дефендер, состоит из трех сложенных вместе пленок. Передняя пленка (фронт-фильм), обращенная целлулоидной стороной к объективу, полита эмульсией, чувствительной только к синим лучам, и содержит желтый краситель, поглощающий синие лучи. Эта пленка регистрирует только синие лучи.

Вторая пленка (центр-фильм) обращена эмульсионной стороной к эмульсионному слою фронт-фильма. Эта пленка полита ортохроматической эмульсией и несет на своей целлулоидной подложке красный фильтрующий слой, поглощающий зеленые лучи.

Задняя пленка (бек-фильм, рюк-фильм) является панхроматической и регистрирует красные лучи.

Подложка первых двух пленок состоит из очень тонкого целлулоида (0,125 мм толщины), а задней — из более толстого (0,2 мм толщины). Трипак закладывается в обычную кассету, как одно целое, и прижимается сверху чистым стеклом.

Спектральная чувствительность трех пленок трипака Дефендера представлена на рис. 66.

Цветопередача трипака Дефендера рассчитана на освещение лампами Фотофлуд.

Для съемок при дневном свете следует применять компенсационный фильтр. Чувствительность трипака Дефендера при съемках с лампами Фотофлуд следует считать примерно в $13-11^\circ$ X. и Д. При дневном свете с компенсационным фильтром чувствительность вдвое меньше.



Рис. 66. Спектральная чувствительность трипака

Трипак можно с успехом использовать при съемках по комбинированному методу с расщеплением светового пучка на две части. В этом случае две передние пленки трипака помещают (без всякого фильтра) в отраженном пучке, а заднюю — в проходящем пучке с применением красного фильтра. Зеркало должно быть в этом случае таково, чтобы отношение отраженного света к прошедшему было 3:1 (для трипака Дефендера).

3. ЦВЕТОДЕЛЯЮЩИЕ ФИЛЬТРЫ

Выбор светофильтров в сильной степени зависит от спектральных характеристик применяемых пластинок. Осо-

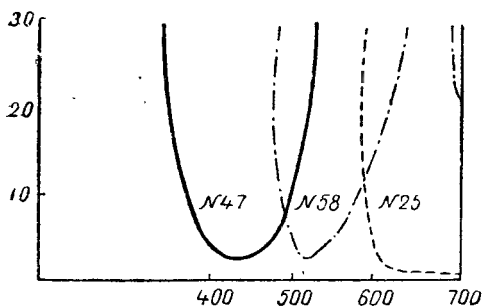


Рис. 67. Кривые поглощения фильтров Реттен

бенно резко это сказывается при применении для регистрации различных первичных неодинаковых пластинок. Светофильтры для трехцветной фотографии выпускаются рядом крупных фирм: Агфа, Кодак, Ильфорд и др. Наибольшим распространением пользуются фильтры, выпускаемые фирмой Кодак под маркой Реттеновских (Wratten) светофильтров.

Кривые поглощения типичных трехцветных фильтров этой фирмы А, В и С₅ (№ 25, 47 и 58) приведены на рис. 67.

На рис. 68 показаны спектрограммы, снятые через эти фильтры при солнечном свете на панхроматических пластинках. Фильтры фирмы Ильфорд разделяют спектр на

три части: от красного конца до 580 μ , от 610 μ до 480 μ и от 515 μ до синего конца. Спектрограммы, снятые с этими фильтрами, приведены на рис. 69.

Фильтры Агфа (№№ 40, 41, 42) значительно темнее фильтров обеих предыдущих фирм. Синий фильтр (№ 40) имеет максимум пропускания при 450—460 μ и пропускает зону от 510 до 430 μ . Для зеленого фильтра (№ 41)

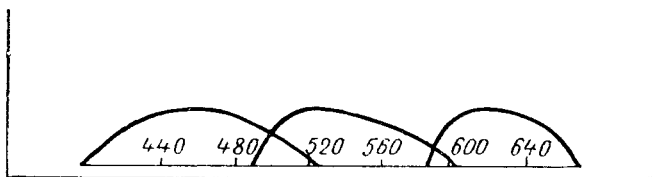


Рис. 68. Спектрограммы, снятые через фильтры Реттен (дневной свет)

область пропускания 480—580 μ с максимумом при 520—530 μ . Наконец, красный фильтр (№ 42) пропускает от 590 μ до красного конца спектра.

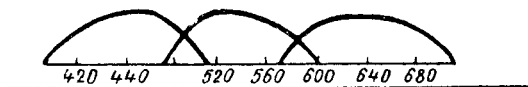


Рис. 69. Спектрограммы, снятые через фильтры Илфорда

Светофильтры для трехцветной фотографии, изготовляемые в СССР Мосстеклокерамикосоюзом и выпускаемые в виде фильтровых насадок к ФЭД, весьма близко соответствуют фильтрам Реттена.

Для камер типа Вивекс, использующих для съемки пластинки с разной спектральной чувствительностью, спектральное пропускание фильтров, конечно, должно быть иным. Синяя пластинка, регистрирующая синие лучи, не нуждается ни в каком фильтре, так как она чувствительна только к синим лучам. Для зеленой пластинки нужен желто-зеленый фильтр, срезающий синие и оранжевые лучи, к которым чувствительна ортохроматическая пластинка. Наконец, для красной пластинки требуется нормальный красный светофильтр. Окрашенный прозрачный слой, находящийся на задней стороне зеркал и служащий для поглощения паразитных изображений, так же действует, как светофильтр для лучей, проходящих через зеркала.

4. ВЛИЯНИЕ СВЕТОФИЛЬТРА НА ОПТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ИЗОБРАЖЕНИЯ

При работе со скользящей кассетой или цветоделящей камерой светофильтры помещаются непосредственно перед пластинкой. В таком случае сопряженное фокусное расстояние (расстояние от светочувствительного слоя до задней узловой точки объектива) увеличивается на постоянную величину, равную приблизительно одной трети толщины светофильтра, независимо от расстояния объекта до объектива. Это изменение наводки постоянно и может быть легко скомпенсировано при конструировании аппарата. Существенным минусом является то обстоятельство, что в этом случае различные дефекты светофильтра (пузырьки, неоднородности слоя и т. п.) будут отчетливо вырисовываться на негативе. С другой стороны, помещение светофильтра перед пластинкой значительно снижает требование к его плоскопараллельности.

Следует настоятельным образом предостеречь от пользования светофильтрами в виде желатиновых пленок, не заклеенных между стеклами. Они крайне легко портятся и коробятся при изменениях влажности и температуры и совершенно не подходят для такого ответственного прибора, как цветная камера.

Если при последовательной съемке пользуются сменными фильтрами, надеваемыми на объектив (например, при съемке камерой ФЭД и т. п.), то в этом случае увеличение сопряженного фокусного расстояния ΔS , вызванное светофильтром, будет уже функцией расстояния до объекта съемки и выражается формулой

$$\Delta S = \left(\frac{F}{D-F} \right)^2 \cdot \frac{L}{3}$$

где F — главное фокусное расстояние объектива, D — расстояние до объекта съемки и L — толщина светофильтра.

Из этого следует, что наводку по матовому стеклу нужно производить с надетым светофильтром (удобнее всего с зеленым).

Для короткофокусных объективов, применяемых обычно для миниатюрных камер, эта поправка делается столь ничтожной, что ею можно пренебречь и наводить по дальному меру даже на близкие предметы. Для более длиннофокусных объективов эта поправка может сделаться уже ощутимой.

Неизбежная призматичность светофильтра, т. е. отступление его от строгой плоскопараллельности, вызовет некоторый сдвиг изображения Δ , если светофильтр помещен на объективе. Для характеристики светофильтра необходимо знать то значение призматичности, которое может

вызвать сдвиг изображения не больше допускаемого. Метрой призматичности служит величина угла, образуемая двумя „параллельными“ гранями фильтра. Связь этой величины i с смещением изображения Δ дается приближенной формулой:

$$i = 6700 \cdot \frac{\Delta}{F}$$

где i — выражено в минутах, а F — главное фокусное расстояние — в тех же единицах, что и Δ .

Для объектива ФЭД с фокусным расстоянием 50 мм при величине Δ , равной допустимому кружку нерезкости для миниатюрных негативов примерно 0,03 мм, максимальная призматичность светофильтра должна быть не более 4 минут дуги. Более длиннофокусные объективы предъявляют еще бóльшие требования к плоскопараллельности светофильтра. В связи с этим для длиннофокусных объективов, применяемых в цветоделющих камерах, пользуются предпочтительно светофильтрами перед пластинкой.

Для определения величины призматического угла i проще всего измерить точным микрометром толщину светофильтра в разных местах его периметра. Если максимальная толщина фильтра будет $L_{\max}$, минимальная $L_{\min}$ и расстояние между точками, в которых эти толщины измерены, будут R , то

$$\operatorname{tg} i = \frac{L_{\max} - L_{\min}}{R}$$

если L и R выражены в одних и тех же единицах.

Минимальный размер светофильтра, который, будучи надет на объектив, даст возможность его полного использования, дается формулой (Фаас)

$$r = R_1 + (l + L) \cdot \frac{p + R_2}{F}$$

где r — минимальный радиус фильтра, R_1 и R_2 — радиусы передней и задней линзы объектива, l — расстояние от светофильтра до объектива, L — толщина светофильтра, p — половина диагонали кадра.

Для вычисления R_1 и R_2 можно приближенно пользоваться формулой

$$R_1 = R_2 = \frac{1}{2} \frac{F}{S}$$

где S — светосила объектива.

Для объектива ФЭД 1:3,5 при толщине фильтра 1,8 мм и $l = 5$ мм получим $r = 14$ мм, т. е. минимальный диаметр должен быть 28 мм.

Самостоятельное изготовление светофильтров для трехцветной фотографии хотя и вполне возможно, но требует весьма тщательной работы. Способы изготовления светофильтров описаны в различных источниках и здесь нет нужды на них останавливаться.

Съемочные светофильтры следует тщательно оберегать от выцветания, предохраняя их от действия сильного света. Очень полезным при этом (для фильтров, одевающихся на объектив) оказывается применение хорошей солнечной бленды.

5. ВЫДЕРЖКА ПРИ ЦВЕТНОЙ СЪЕМКЕ

Допустимые вариации в выдержке определяются как шириной эмульсии, так и интервалом яркостей объекта. Условие пропорциональной передачи, которое должно особенно строго соблюдаться в цветной съемке, требует, чтобы интервал яркостей объекта лежал в пределах прямолинейной части характеристики.

При цветной съемке этому условию должен удовлетворять каждый из трех цветоделенных негативов. Поэтому удобно ввести понятие о полном интервале яркостей, определяя его как разность между наибольшей и наименьшей из яркостей, зарегистрированных на цветоделенных негативах.

Так например, если снимаемый объект окрашен в красно-оранжевый цвет с примесью небольшого количества синего, то полный интервал яркости получится путем вычитания значения самой малой яркости под синим фильтром из величины самой большой яркости под красным фильтром.

Величина такого полного интервала будет определяться не только освещенностью различных мест объекта, но и его окраской, завися от относительных количеств первичных. Требование пропорциональной передачи в нашем случае может быть сформулировано таким образом: полный интервал яркостей объекта должен полностью находиться в области прямолинейной части характеристической кривой применяемого негативного материала. С этой точки зрения хуже всего должны были бы передаваться весьма насыщенные светлые цвета с малым содержанием других первичных и вследствие этого с большим полным интервалом яркостей. Однако как раз в этом случае ошибки в цветопередаче будут менее заметны глазу.

В силу этого весьма трудно указать допустимые пределы отклонения от нормальной выдержки. Во всяком случае они много меньше, чем при черно-белой фотографии. Особенно высокие требования предъявляются при съемке портретов, где даже небольшие отклонения в передаче

телесного цвета становятся резко заметными. Особенно вредны отклонения в сторону недодержки.

Допуски в выдержке зависят также от рода применяемых светофильтров. При широких, перекрывающихся светофильтрах они меньше, и передержка в этом случае легко приводит к получению нечистых, тусклых тонов.

Методы, в которых применяется обращение негатива в позитив (большинство растровых способов, многослойные способы), обладают еще меньшей свободой в этом отношении, так как применяемые для этой цели светочувствительные слои вследствие своей малой толщины обладают незначительной шириной. Для растровых материалов Дюфэйколор ширина (в логарифмических единицах) составляет всего 0,90 (1:8), т. е. в 16 раз меньше чем киноплёнка СЧС. К тому же, обычно, кривые пропускания элементов растра сильно перекрывают друг друга, что также уменьшает допустимые пределы отклонений от нормальной выдержки.

Любой из рассмотренных здесь способов цветоделения неизбежно сопряжен с некоторой потерей части света и поэтому должен требовать определенного увеличения выдержки по сравнению с монохромной съемкой при тех же условиях.

При применении анализирующих фильтров, каждый из которых выделяет из общего потока лучистой энергии определенный спектральный интервал, каждое цветоделенное изображение получает только примерно одну треть общего количества энергии.

Это имеет место при любом способе цветоделения, даже если по пути лучей не происходит никакого дальнейшего их изменения. Поэтому трехкратное увеличение выдержки является теоретически требуемым идеальным минимумом.

Если мы прибегаем для целей цветоделения к расщеплению светового пучка на несколько частей, то мы должны учесть и этот фактор ослабления света. Для цветоделения камер с тройным расщеплением минимальное увеличение выдержки составляет 9 раз, а для камер с двойным расщеплением (комбинированные способы)—6 раз.

6. ВЛИЯНИЕ СВЕТОФИЛЬТРА НА ВЫДЕРЖКУ

В тех случаях, когда для съемки не применяют специальные негативные материалы, содержащие неразрывно связанные со светочувствительным слоем цветоделющие фильтры (бипак и трипак, растровые пластинки и пленки, многослойные пленки и т. п.), выбор правильной выдержки затрудняется тем, что приходится учитывать поглощение света применяемыми светофильтрами. Конечно, и для сле-

циальных материалов светофильтры действуют таким же образом, но, поскольку их светочувствительность обычно определяется вместе со светофильтрами, влияние последних на выдержку учитывается автоматически.

Введение светофильтра вообще снижает фотографическую яркость объекта, т. е. уменьшает интенсивность лучей, действующих на светочувствительный слой.

Обозначая соответствующие величины яркостей со светофильтром и без него через B и B_0 , можно назвать величину $\Phi = \frac{B_0}{B}$, определяющую упомянутое действие фильтра, фактором фильтра.

Это уменьшение фотографической яркости объекта, вызванное применением фильтра, можно скомпенсировать соответствующим увеличением интенсивности I , действующего на слой света путем увеличения открытия диафрагмы. В таком случае

$$\Phi = \frac{I_0}{I}$$

где I_0 и I — интенсивности света, вызывающие на негативе одинаковое почернение без светофильтра и с ним.

На практике чаще прибегают для такой компенсации к увеличению времени выдержки. Если t_0 и t будут выдержки, соответствующие съемке без светофильтра и с ним, то величину $\varphi = \frac{t}{t_0}$ называют кратностью фильтра.

Строго говоря, φ не равно Φ , так как по закону Шварцшильда фотографическое действие пропорционально не экспозиции $H = I \cdot t$, а величине $I \cdot t^p$, где p — показатель Шварцшильда. Поэтому, вообще говоря, величины φ и Φ связаны между собой уравнением

$$\varphi = \sqrt[p]{\Phi}$$

Для более удобного расчета Фаас дает приближенную формулу:

$$\varphi = \Phi \left(1 + \frac{1-p}{0,434} \cdot \log \Phi \right).$$

При высоких значениях фактора фильтра эта поправка может иметь существенное значение. Так например, для фильтрового фактора, равного 20, которым обладают некоторые узкие синие фильтры (например Агфа) и, принимая $p = 0,8$, получим для φ значение 32, т. е. на 60% больше.

Практически, однако, пользуются экспериментально определенными значениями кратности фильтра φ .

Фактор фильтра зависит от ряда причин: спектрального состава освещающего света, спектральной чувствительности эмульсии и спектрального пропускания светофильтра.

Аналитически эта зависимость может быть выведена из выражения фотографической яркости B_0 , которая равна

$$B_0 = 1 : \pi \int_0^{\infty} R_{\lambda} \cdot E_{\lambda} \cdot S_{\lambda} d_{\lambda}$$

где R_{λ} — спектральный коэффициент отражения объекта, E_{λ} — спектральное распределение энергии освещающего света и S_{λ} — спектральная чувствительность эмульсии.

Для B — яркости со светофильтром имеем

$$B = \frac{1}{\pi} \int_0^{\infty} R_{\lambda} \cdot E_{\lambda} \cdot T_{\lambda} \cdot d_{\lambda}$$

где T_{λ} — спектральное пропускание светофильтра. Отсюда

$$\Phi = \frac{B_0}{B} = \frac{\int_0^{\infty} R_{\lambda} \cdot E_{\lambda} \cdot S_{\lambda} \cdot d_{\lambda}}{\int_0^{\infty} R_{\lambda} \cdot E_{\lambda} \cdot S_{\lambda} \cdot T_{\lambda} d_{\lambda}}$$

Для фильтров, применяемых для цветоделения при трехцветной репродукции, предшествующие рассуждения оказываются в общем справедливыми, за исключением одной существенной поправки.

7. КРАТНОСТИ ЦВЕТОДЕЛЯЩИХ ФИЛЬТРОВ И ИХ ОПРЕДЕЛЕНИЕ

Задача корректирования ослабляющего действия светофильтра, обсуждаемая ранее, сводится к подбору условий экспозиции (интенсивность, выдержка), при которых была бы обеспечена одинаковость плотностей для негативов, снятых с фильтром и без него. При цветоделенной съемке такая формулировка имеет смысл только для ахроматического объекта*, который должен на всех негативах передаваться с одинаковой плотностью как без фильтров, так и с ними. Поэтому в выражении фактора фильтра, данного нами выше, значения R_{λ} относятся именно к такому серому, ахроматическому объекту. Для него, очевидно $R_{\lambda} = \text{const}$ для всех λ и потому

$$\Phi_{\text{сер}} = \frac{\int_0^{\infty} E_{\lambda} \cdot S_{\lambda} \cdot d_{\lambda}}{\int_0^{\infty} E_{\lambda} \cdot S_{\lambda} \cdot T_{\lambda} d_{\lambda}}$$

* Под ахроматическим объектом здесь понимается так называемый „истинно“ серый, т. е. обладающий равномерным отражением по всему спектру, а не просто визуально серый.

Из многочисленных способов определения кратности фильтра, описание которых можно найти в книге Фааса, мы остановимся только на сенситометрическом определении по системе Хертера и Дриффильда и определении методом пробных съемок.

По первому способу поступают следующим образом. Получают сенситограммы (с помощью обычного сенситометра Хертера-Дриффильда) применяемого негативного материала без светофильтра и с испытуемым светофильтром. В связи с влиянием спектрального состава освещения необходимо эти испытания проводить с теми источниками света, которые будут применены при съемке (искусственный дневной свет, полуваттный свет и т. п.).

Так как величина гаммы зависит от спектрального состава освещения, то полученные сенситограммы должны быть проявлены до одинакового значения гаммы: это потребует различного времени проявления для сенситограммы с фильтром и без него.

После промера плотностей сенситограммы и построения характеристических кривых, находят обычным путем значения инерций H_{i0} и H_i . Отношение H_i/H_{i0} и будет искомой величиной кратности фильтра φ , так как в системе Хертер - Дриффильда отношение экспозиции равно отношению соответствующих выдержек.

Более удобным и доступным является способ пробной съемки. Производят ряд съемок ахроматического объекта на применяемых пластинках через испытуемый светофильтр при разных выдержках и без светофильтра. После проявления негативов находят такую выдержку, при которой плотности объекта, снятого со светофильтром и без него, были одинаковы. Для получения точных результатов не следует доверяться визуальной оценке, а обязательно производить промер негативов с помощью какого-нибудь денситометра. Само собою разумеется, что такого рода определения должны быть повторены для каждого типа освещения, которое будет применено для съемки (прямой или рассеянный дневной свет, полуваттный свет и т. п.).

Так как спектральная чувствительность эмульсии даже для одного ее сорта не остается постоянной, а меняется от полива к поливу и иногда довольно значительно, производить подобное определение рекомендуется для каждого нового номера эмульсии.

Очень удобный и простой прибор, позволяющий произвести ряд экспозиций на одной пластинке, может быть сделан следующим образом. Продолговатый картонный ящик обклеивают изнутри черным бархатом. В его крышке делают прорезь, в которой может перемещаться снимаемый серый объект. Сделав первую съемку, закрывают затвор

и передвигают серый объект в прорези так, чтобы он занял соседнее положение, после чего производят вторую съемку, и т. д.

При съемке с постоянными условиями освещения можно пользоваться один раз найденными кратностями фильтров. При изменении освещения кратности фильтров нужно определять заново.

В таблице приведены ориентировочные данные для разных эмульсий, фильтров и условий освещения.

Эмульсия	Освещение	Фильтры					
		Ретген			Агфа		
		A(кр.)	B(зел.)	C ₀ (син.)	40	41	42
Агфа суперпан	Дневной свет	6	7	8	30	15	10
	Полуваттный	4	6	24	80	16	4
Кодак супер-сенситив	Дневной свет	4,5	8	6			
Кодак супер-сенситив	Полуваттный	3	8	12			
Ильфорд гипер-сенситив	Дневной свет	4,5	8	6			
Ильфорд гипер-сенситив	Полуваттный	3	8	12			
Дефендер X-Г Панхром	Дневной свет	9	5	6			
Дефендер X-Г Панхром	Полуваттный	4	6	13			
	Фотофлуд	5	6	10			
Кодак супер X	Дневной свет	5	6	5			

Зависимость кратностей фильтров от освещения еще нагляднее видна на таблице для панхроматических пластинок Ильфорда.

Род освещения	Фильтры Ильфорд		
	Красный	Зеленый	Синий
Магний	5	9,5	7,5
Дневной свет в пасмурную погоду	5,5	9,5	6
Дневной свет. Солнце	9,5	11	5
Рассеянный дневной свет	7,5	9,5	5,5
Открытая дуга	4,5	9	7,5
Закрытая дуга	4,5	14	4
Полуваттный свет	2	10	13

Как видно, кратности различных фильтров неодинаково меняются с изменением освещения. Это создает основное затруднение при определении выдержки.

8. СПОСОБЫ УРАВНИВАНИЯ ФИЛЬТРОВЫХ ФАКТОРОВ В ЦВЕТОДЕЛЯЩИХ КАМЕРАХ

В цветоделящих камерах, в которых экспонирование всех трех негативов происходит одновременно, нельзя уравнивать факторы фильтров путем изменения выдержки для каждого фильтра в отдельности. В этом случае кратности всех трех фильтров должны быть одинаковыми. Добиться этого можно:

а) соответствующим подбором спектральной характеристики фильтров и расщепляющего устройства (зеркала, призмы);

б) компенсацией разницы фильтровых факторов путем ослабления интенсивности света введением нейтрально-серых дополнительных плотностей;

в) применением перед объективом компенсационного светофильтра со спектральным пропусканием, подобранным таким образом, чтобы уравнивать фильтровые факторы цветоделящих фильтров;

г) применением негативного материала разной чувствительности. Этот метод применяется обычно в комбинации с одним из предыдущих.

Наиболее совершенным, хоть и самым трудным, является первый способ. Он применяется (в комбинации с четвертым) в камере Вивекс. Для этой камеры относительные количества света, попадающие на пластинку через соответствующие фильтры (красный, зеленый и синий), относятся как 4:1:3 (по измерениям автора).

Второй метод наиболее прост, но сопряжен с некоторой потерей света и, следовательно, с увеличением требуемой выдержки. Приведем пример расчета требуемых дополнительных плотностей.

Пусть для данных фильтров и негативного материала кратности для красного, зеленого и синего фильтров будут соответственно 9, 5 и 6. Следовательно, интенсивность синих лучей надо ослабить до $\frac{6}{9}$ их первоначального значения,

интенсивность зеленого — $\frac{5}{9}$ и красные оставить без изме-

нения. Для этого к синему фильтру нужно добавить нейтрально-серую плотность, равную логарифму обратных значений этих дробей, что составит примерно 0,17 для синего и 0,25 для зеленого. При этом мы пренебрегали различием между факторами фильтров и их кратностью, заменяя изменение выдержки изменением интенсивности.

Эти добавочные плотности удобнее всего приготовить в виде тонкой фотопленки, склеенной со светофильтром, засвеченной и проявленной до нужной плотности.

При пользовании эмульсиями разной спектральной чувствительности можно сильно уменьшить кратности фильтров и тем сократить выдержку. Для примера приведем следующую таблицу, относящуюся к материалам фирмы Дефендер и фильтрам Реттен:

	Пленка	Фильтр	Дневной свет	Фотофлуд	Полуватт-ный
I комбинация	Панхроматическая .	A (красный)	9	5	4
	" .	B (зеленый)	5	6	6
	" .	C ₃ (синий)	6	10	13
II комбинация	Панхроматическая .	A	9	5	4
	Ортохроматическая	K ₃ (желтый)	2,5	3	3
	Несенсибилизированная	без фильтра	1	1,7	2

Применяя вместо одной панхроматической пленки комбинацию из панхроматической, ортохроматической и несенсибилизированной пленок, можно сократить общую выдержку для дневного света на 37%, для Фотофлуд — на 54% и для полуваттного — на 61%.

Попытки уменьшения кратности одного из фильтров путем применения „широких“ светофильтров с пологими

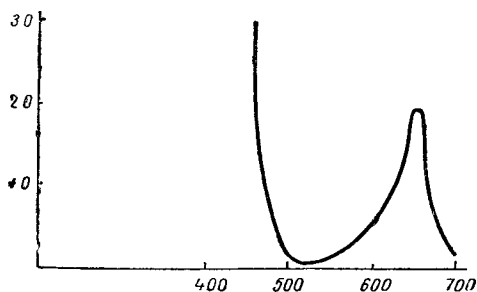


Рис. 70. Спектральное поглощение „широкого“ фильтра (Реттен № 56)

и широкими областями пропускания неизбежно повлекут за собой сильные искажения в цветопередаче.

Предположим, что для некоторого данного случая кратность зеленого фильтра оказывается большей, чем для красного и синего. Заменив наш зеленый фильтр Реттен № 58 (см. рис. 67) на более

прозрачный № 56 (рис. 70), мы действительно сможем уравнивать кратности всех фильтров и получим серую шкалу одинаковой плотности на всех негативах.

Однако увеличение прозрачности зеленого фильтра неизбежно связано с расширением его полосы пропускания и достигается главным образом за счет увеличения пропускания им синих и красных лучей.

Таким образом фактически мы лишь незначительно уменьшаем требуемую выдержку для зеленых лучей, но зато

увеличиваем количество синих и красных лучей, регистрируемых зеленым негативом. В результате этого в готовом цветном изображении зеленые цвета потеряют в яркости и насыщенности, в то время как синие и красные будут содержать больше зеленого. В силу этого синие цвета передадутся зеленоватыми, а красные приобретут оранжевый оттенок.

9. КОМПЕНСАЦИОННЫЕ ФИЛЬТРЫ

Вышеизложенные способы уравнивания кратностей фильтров страдают тем недостатком, что приспособлены для коррекции некоторых фиксированных значений фильтровых факторов. Если же последние должны быть изменены, то приходится прибегать к дополнительным приемам коррекции.

С таким же положением мы встречаемся и в тех случаях, когда цветоделющие фильтры неразрывно связаны с светочувствительным слоем (трипак и бипак, многослойные эмульсии, растровые способы и т. п.). Во всех этих случаях фильтры, очевидно, могут быть подобраны таким образом, чтобы обеспечить одинаковость выдержки для всех слоев только при одном каком-нибудь типе освещения (дневной, полуваттный и т. п.). Изменение фильтровых факторов при переходе к другому типу освещения может быть во всех этих случаях осуществлено только с помощью компенсационных фильтров.

Задачей компенсационного фильтра является изменение состава освещения таким образом, чтобы он соответствовал тому свету, на который был „настроен“ соответствующий негативный материал или цветоделющая камера. Примером такого компенсационного фильтра может служить фильтр дневного света, применяемый в сенситометрии для приведения состава света лампочки накаливания к нормальному дневному свету.

Очевидно, что для материалов, „настроенных“ к дневному свету, при применении полуваттного освещения нужно пользоваться зеленовато-голубым фильтром, срезающим избыток красных и оранжевых лучей, имеющих в полуваттном свете по сравнению с дневным. На рис. 71 в качестве примера приведена кривая поглощения компенсационного фильтра, применяемого при съемках на бипаке НИКФИ с полуваттным светом.

К такого рода компенсационным фильтрам приходится прибегать и в цветоделющих камерах. В камерах других типов не пользуются одним компенсационным фильтром, а при переходе к другому освещению сменяют цветоделющие фильтры, что, очевидно, менее удобно, хотя позволяет более точную подгонку к данному типу освещения.

В том случае, когда негативный материал или съемочная камера настроены на полуваттный свет, при переходе к дневному необходимо пользоваться компенсационным фильтром, ослабляющим синие лучи, преобладающие в дневном свете. Такой случай представляет трипак Дефендера, рассчитанный на съемку при лампах Фотофлуд. При переходе к дневному свету на объектив надевают желтоватый компенсационный фильтр Реттен № 86 В, кривая пропускания которого приведена на рис. 72.

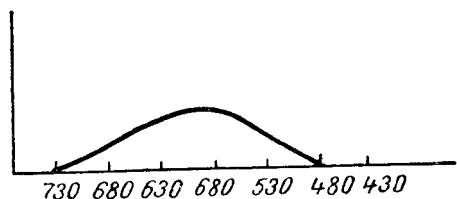


Рис. 71. Компенсационный фильтр к би-паку НИКФИ для съемок при полуваттном свете

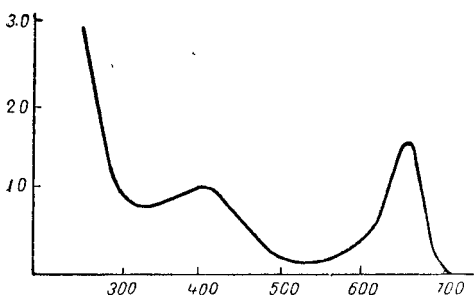


Рис. 72. Компенсационный фильтр к трипаку Дефендера

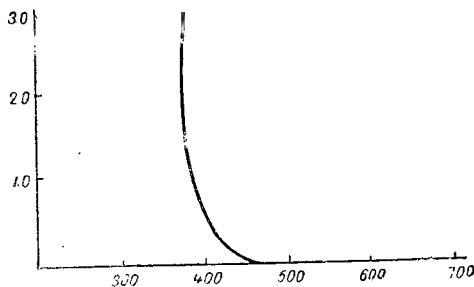


Рис. 73. Спектральное пропускание фильтра Реттен № 2

Особого рода компенсационный фильтр должен применяться при съемке в горах, при снежных ландшафтах и т. п. сюжетах. В этих случаях присутствует много ультрафиолетовых лучей, которые обязательно должны быть отфильтрованы с помощью, например, эскулинового фильтра (Реттен № 2 рис. 73). Такой фильтр следует применять в этих случаях и при последовательной съемке.

Компенсационный фильтр, подобно всякому светофильтру, обладает некоторым фильтровым фактором, что необходимо учитывать при определении выдержки. Кратность этих фильтров обычно невелика — 1,5 — 2,0.

Особого рода компенсационный фильтр должен применяться при съемке в горах, при снежных ландшафтах и т. п. сюжетах. В этих случаях присутствует много ультрафиолетовых лучей, которые обязательно должны быть отфильтрованы с помощью, например, эскулинового фильтра (Реттен № 2 рис. 73). Такой фильтр следует применять в этих случаях и при последовательной съемке.

10. ВЛИЯНИЕ ОСВЕЩЕНИЯ НА КРАТНОСТИ ФИЛЬТРОВ

Изменение кратностей фильтров при различных условиях освещения вносит большие затруднения, которые не всегда могут быть преодолены описанными выше способами.

Спектральный состав дневного света не является постоянным и меняется как в зависимости от высоты солнца над горизонтом, так и от состояния погоды. В таблице § 7 мы видели уже, что переход от прямого солнечного света к дневному свету в пасмурную погоду вызывает довольно значительное изменение кратностей фильтров. Спектральный состав дневного света изменяется даже в зависимости от того, находится ли снимаемый объект на солнце или в тени. В первом случае он освещается более желтоватым прямым солнечным светом, а во втором — несколько более голубоватым рассеянным светом неба. В некоторых случаях такое посинение теней является вполне нормальным и для нашего глаза (синие тени на снегу в солнечный день), но при этом всегда нужно иметь в виду возможность цветовых искажений. Эти затруднения особенно выражены при работе с цветоделящими камерами.

Работа в ателье при постоянном искусственном свете с этой точки зрения несравненно легче. Нужно только иметь в виду, что спектральный состав света обычных ламп накаливания заметно отличается от света ламп, горящих с перекалом (типа Фотофлуд или кинопроекционных ламп). Свет этих последних богаче синими лучами, что приводит к уменьшению кратности синего фильтра. Как пример, приведем данные для пленки СЧС-1 и советских трехцветных фильтров по испытаниям автора.

Освещение	Красный фильтр	Зеленый фильтр	Синий фильтр
Полуваттные лампы	2	8	20
Кинопроекционные лампы . .	2,5	7	12

Еще большие различия имеют место для дуговых ламп, которые по своему составу приближаются к среднему дневному свету.

Если кратность цветоделящих или компенсационных фильтров определена тем или иным образом или учтена при конструкции камеры или изготовлении негативного материала, то задача установления выдержки сводится к определению основной выдержки (без светофильтров).

Ввиду требующейся точности определение выдержки лучше всего производить с помощью хорошего фотоэлектрического экспонометра.

11. КОНТРОЛЬНАЯ ТАБЛИЦА

Для контроля правильности выдержки, контраста негативов и для облегчения последующей цветной печати совершенно необходимо включать в кадр при съемке ка-

кой-нибудь контрольный объект. Наличие такого объекта не только дает возможность проверки правильности примененных фильтровых факторов и надлежащего контраста негативов, но и оказывается крайне существенным для последующих операций: изготовления цветоделенных позитивов и самой цветной печати.

В качестве такого контрольного объекта может служить любой объект, относительно которого может быть заранее известно, с какими плотностями он должен быть передан на цветоделенных негативах. Обычно для этой цели рекомендуется так называемая серая шкала, представляющая собой в простейшем виде три куса матовой бромистой бумаги: неэкспонированной, засвеченной и проявленной до серого тона средней плотности и совершенно черной.

Применение такой серой шкалы в качестве контрольного объекта базируется на том допущении, что при правильной цветопередаче эта серая шкала должна на всех трех цветоделенных негативах передаваться с одинаковой плотностью. Это утверждение имеет, очевидно, смысл только в том случае, если смесь равных количеств печатных красок (создаваемых равными плотностями негативов) сможет воспроизвести нейтрально-серую окраску нашей шкалы. Однако полученный таким образом цвет будет, как правило, весьма далек от нейтрально-серого и в лучшем случае будет лишь весьма мало насыщенным хроматическим тоном.

В громадном большинстве случаев можно было бы достичь лучшего приближения к цвету оригинальной шкалы, применяя неравные количества красок, а, следовательно, при неравных плотностях цветоделенных негативов. Поэтому утверждение, что нейтрально-серый объект должен передаваться с равными плотностями на всех цветоделенных негативах, является с принципиальной точки зрения неверным.

Было бы удобнее применять в качестве контрольного объекта такую шкалу, для воспроизведения которой заведомо требуются одинаковые плотности. По предложению Н. Д. Ньюберга для этого можно применить так называемую „псевдосерую“ шкалу, составленную из субтрактивной смеси трех применяемых в данном процессе печатных красок, взятых в одинаковых количествах. Правильное воспроизведение такой шкалы, очевидно, будет требовать одинаковых плотностей на негативах. Само собою разумеется, что такого рода „псевдосерая“ шкала должна изготавливаться заново для каждой новой триады печатных красок.

Применение обычной серой шкалы для целей контроля вполне допустимо, если заранее путем опыта установлено, с какими (вообще говоря, неодинаковыми) плотностями она должна передаваться на цветоделенных негативах.

Вдоль одного края шкалы удобно наклеить узкие цветные полосы синего, красного и желтого цветов (например, полосы пигментной бумаги) не слишком темной окраски и снабдить их черными буквами, указывающими на цвет полосы. Различная передача этих полосок служит хорошим средством для идентификации цветоделенных негативов.

Контрольная шкала должна быть помещена таким образом, чтобы ее можно было удалить при обрезке изображения, не нарушая композиции кадра. Нет никакой необходимости, чтобы контрольная шкала была бы вполне в фокусе, однако она обязательно должна получать то же освещение, что и весь снимаемый объект в среднем. Недопустимо помещать ее в тени, когда большая часть объекта находится на солнце, и т. п.

12. ВЫБОР УСЛОВИЙ ОСВЕЩЕНИЯ ПРИ ЦВЕТНОЙ СЪЕМКЕ

Для цветной фотографии обычно желательно передать объект так, как он выглядит при дневном освещении. Однако пользование дневным светом представляет большие затруднения из-за неожиданных и неконтролируемых изменений в его спектральном составе и интенсивности.

Поэтому удобнее пользоваться искусственным светом, обладающим высоким постоянством в интенсивности и цвете. Разумеется, для обеспечения полного постоянства освещения нужно контролировать напряжение в сети, изменения которого могут быть иногда весьма значительны.

Если требуется точная цветопередача, следует применять освещение только одного типа (например, только полуваттные лампы или только дуговой свет и т. п.) и тщательно избегать смешанного света. При рассматривании цветного изображения, сделанного при смешанном освещении, эти различия выступают очень резко и могут совершенно исказить цветопередачу.

К сожалению, даже освещая объект только полуваттным светом, не всегда оказывается возможным вполне устранить смешанное освещение. Может случиться, что часть света попадает на объект путем отражения от окрашенной стены ателье, другая часть — от грязного или выгоревшего рефлектора и, наконец, третья — от прожектора с диффузором. Эти три источника дают свет несколько различающийся по окраске. Глаз в силу явлений адаптации далеко не всегда может заметить эту разницу, но ее достаточно для фотографической пластинки. Поэтому в ателье следует избегать окрашенных предметов, могущих дать нежелательные цветные рефлексы.

В силу этих причин при выборе освещения для ателье следует тщательно следить за тем, чтобы цветовая тем-

пература (а следовательно, и цветность) всех источников света была одинакова. Не следует смешивать свет 500- или 1000-ваттных ламп накаливания обычного осветительного типа со светом кинопроекторных ламп или ламп с перекалом (типа Фотофлуд), которые горят при значительно более высокой цветовой температуре. Даже применение для разных источников молочных или матовых ламп может привести к ошибкам.

Для уравнивания цвета прожекторов со светом обычных ламп, перед прожектором можно помещать очень слабый желтый фильтр, получаемый, например, при пропитывании листка целлофана в растворе:

Тартрацина	0,1 г
Глицерина	0,5 „
Воды	100 см ³

При употреблении рефлекторов следует тщательно следить за тем, чтобы их отражающая поверхность была чистой и вполне белой.

13. ВАЖНОСТЬ МЯГКОГО ОСВЕЩЕНИЯ

В главе III мы уже детально разбирали необходимость соблюдения пропорциональной передачи для цветоделенных негативов и, как следствие этого, ограниченность интервала яркостей объекта.

Небольшое искажение передачи тонов в черно-белой фотографии почти не воспринимается. Но в цветной фотографии даже незначительные отклонения от пропорциональной передачи, хотя бы и одинаковые для всех трех цветоделенных негативов, сильно заметны.

Причина такого различия лежит главным образом в том, что мы привыкли рассматривать монохромную черно-белую фотографию лишь как весьма условное изображение природы, и требование точной передачи светлот различно окрашенных объектов в виде шкалы серых тонов является в значительной степени излишним.

Цветную фотографию мы воспринимаем как более или менее удачную репродукцию природы. Поэтому белый блик на лбу кажется мало существенным, когда вообще тело передается различными оттенками серого и, напротив, резко выделяется на цветном отпечатке, на котором он должен был бы иметь натуральный телесный цвет.

Не следует забывать, что качество цветной фотографии главным образом зависит от правильной передачи и надлежащей дифференциации наиболее нежных и тонких переходов цвета. Для обеспечения этого совершенно необходимо, чтобы соответствующие места на негативах на-

ходились в области пропорциональной передачи, так как сглаживание различий в тональностях, имеющих место в искривленных частях характеристической кривой, неизбежно повлечет за собой потерю этих тонких цветовых различий (см. гл. III, § 16).

Отсутствие деталей в ярких светах и глубоких тонах, которое иногда бывает даже желательным в монохромной фотографии, весьма неприятно в цвете.

Исходя из всех этих соображений, в цветной фотографии следует применять более плоское освещение, поскольку к тому же цвета сами по себе дают достаточную моделировку объекта, не нуждающуюся в дополнительном подчеркивании с помощью светотени.

Рис. 74. Схема освещения для цветной съемки

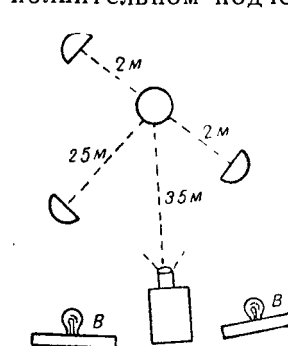
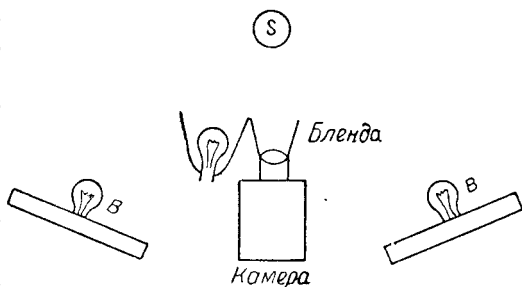


Рис. 75. Схема освещения для цветной съемки

фотоэлектрического

шата 10. Рис. 74 дает примерную схему очень простого, но эффективного расположения освещения для съемки цветных портретов. Буквой *В* обозначены „стояки“, состоящие, примерно, из 15—20 150-ваттных матовых ламп каждый, снабженных белым рефлектором и диффузором. Добавочный, более концентрированный источник света помещается рядом с камерой.

Рис. 75 дает более сложную схему освещения. Как и в первом случае, по крайней мере 50% общего света дается

стояками В, в то время как одиночные источники дают моделирующие подсветы.

При всех цветных съемках следует помнить об опасности рефлексов в объективе, к которым особенно склонны большие светосильные объективы. Такие рефлексy могут совершенно испортить цветное изображение и, в всяком случае, сильно снизить контраст. Поэтому применение хорошей солнечной бленды является совершенно обязательным при всякой цветной съемке, особенно с короткофокусными объективами.

Требование мягкого, равномерного освещения при цветных съемках отнюдь не является чем-либо догматическим и категорическим. В отдельных случаях мы встречаемся с резкими отступлениями от этого правила, приводящими, однако, к прекрасным результатам.

Здесь прежде всего нужно принять во внимание эстетическую сторону цветного изображения. Хотя теория совершенно справедливо указывает, что при нарушении пропорциональности передачи тонов вследствие слишком большого интервала яркостей объекта цветопередача искажается, она тем не менее совершенно не в состоянии в каждом конкретном случае указать размеры этого искажения и тем более влияния этого на художественную ценность изображения. Последнее в особенности может иметь решающее значение, и эстетическое впечатление от изображения какого-нибудь солнечного ландшафта с глубокими тенями может сделать весьма мало значащими те искажения цветов, которые при этом могут наблюдаться, если они, конечно, не чрезмерны.

Повидимому, высказанное выше положение о равномерном освещении при съемке, которое встречает наибольшее число возражений со стороны неопитов цветной фотографии, следовало бы сформулировать следующим образом.

Если съемка произведена в условиях, обеспечивающих пропорциональную передачу тонов цветоделенными негативами, то мы вправе требовать от цветного процесса максимум того, что он может вообще дать в смысле точного воспроизведения цветов оригинала. В противном же случае результаты нашей съемки будут зависеть от сложной комбинации целого ряда технических и эстетически-художественных факторов и поэтому не могут быть заранее предсказаны. Только большой опыт и художественное чутье фотографа смогут до известной степени предугадать результат, да и то лишь с большей или меньшей долей вероятия.

При цветных съемках предметов, имеющих довольно значительное протяжение в глубину, следует иметь в виду,

что неодинаковая фокусировка различных планов, которая в черно-белой фотографии является весьма эффективным средством художественного воздействия, в цветной фотографии может применяться лишь в весьма ограниченных масштабах.

Помимо неприятного с эстетической стороны впечатления, которое часто вызывается внефокусными цветовыми пятнами, следует иметь в виду и то обстоятельство, что для предметов, лежащих вне фокальной плоскости, нарушается совпадение контуров цветных изображений. Это происходит в силу того, что хроматическая коррекция объектива сильно падает по мере удаления от фокальной плоскости.

Для целей дифференциации различных планов лучше пользоваться освещением различной силы, что является более привлекательным и с чисто художественной стороны.

14. ПРОЯВЛЕНИЕ НЕГАТИВОВ

Проявление цветоделенных негативов представляет весьма ответственную работу, от правильного проведения которой в очень значительной степени зависит успех всей съемки.

Монохромные фотографии в начале своего знакомства с цветной фотографией не обращают обычно внимания на то, что первоклассная техника является жизненной необходимостью для цветной работы.

В то время как 20% -ное изменение плотности монохромного бромистого отпечатка лишь едва может быть замечено глазом, 10% -ное изменение одного из компонентов цветного изображения не только ясно видно, но может совершенно разрушить иллюзию реальности. Оно может превратить теплый телесный цвет в трупный зеленоватый.

Вариации такого порядка могут быть легко вызваны небрежным проявлением негативов. Так например, если негативы проявляются в баке, причем изображения положены в бак в неодинаковом положении, то небольшая разница в плотностях верха и низа изображения может привести к очень заметным нарушениям цветового баланса. Розовые или зеленые полосы, заметные на некоторых изображениях, являются часто следствием этой ошибки.

Основной задачей правильного проявления является обеспечение надлежащего контраста всех трех негативов. На основании теоретических рассуждений можно полагать, что, вообще говоря, цветоделенные негативы должны обладать неодинаковым контрастом. Это стоит в связи с вопросом о возможности воспроизведения нейтрально-серого

цвета путем смешения равных количеств трех печатных красок, о чем речь шла выше (§ 11). Однако, поскольку в настоящее время еще не существует достаточно практически проверенных методов подбора требуемого контраста цветоделенных негативов, в качестве первого приближения следует рекомендовать проявление их до одинакового значения гаммы. При проявлении всех трех негативов в одном и том же проявителе в течение одинакового времени, гамма синего негатива обычно будет несколько

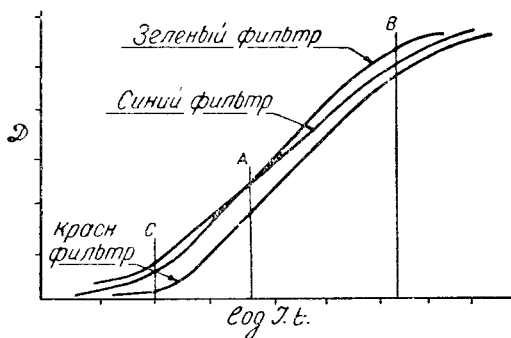


Рис. 76. Условие равенства контраста

меньше, чем у остальных. Можно однако подобрать такой негативный материал, для которого эта зависимость будет минимальной. В таком случае одновременное проявление всех трех цветоделенных негативов автоматически обеспечит равенство их контраста. В противном случае необходимо добиться этого соответствующим

изменением времени проявления отдельных негативов.

Влияние, которое оказывает на цветопередачу различие в контрасте между цветоделенными негативами, нагляднее всего может быть показано на примере воспроизведения серой шкалы.

На рис. 76 приведены типичные характеристические кривые некоторой панхроматической эмульсии, полученные через три цветоделяющих фильтра при одинаковом времени проявления. Пусть правильное воспроизведение серого цвета требует равных количеств всех трех красок. Тогда оно возможно будет только при некоторой определенной экспозиции, соответствующей точке пересечения всех трех характеристик (точка A). Только в этой точке количества трех красок в репродукции будут равны друг другу и в сумме дадут серый цвет.

При больших экспозициях, например в точке B , будет преобладать красный цвет, а при малых (точка C) — синий. Таким образом неодинаковость контраста цветоделенных негативов в этом случае может вызвать искаженную передачу серых тонов, а, следовательно, и всех остальных цветов.

Наличие различных цветных оттенков в светлых и темных ступенях серой шкалы является обычно характерным признаком таких негативов.

Исправление этого недостатка при дальнейших процедурах весьма затруднительно, а часто и прямо невозможно. Поэтому, при проявлении особенное внимание следует обратить на достижение полного тождества контраста у всех цветоделенных негативов.

Исключительная важность соблюдения надлежащего контраста обычно забывается работниками цветной фотографии, хотя выполнение этого условия имеет большее значение, чем применение правильных фильтровых факторов. Ошибки в факторах фильтра даже в два раза благодаря большой широте современных эмульсий могут быть заметны только в исключительных случаях, в то время как в случае контраста это абсолютно недопустимо.

Хотя от вполне нормальных негативов и требуется полное совпадение изображений серой шкалы как по плотности, так и по контрасту, но с небольшими отклонениями от равенства плотностей, поскольку они легко могут быть исправлены при позитивной печати, гораздо легче мириться, чем с различиями в контрасте.

15. УСТАНОВЛЕНИЕ ВРЕМЕНИ ПРОЯВЛЕНИЯ

Прежде чем приступить к проявлению цветоделенных негативов нужно сначала установить время проявления каждого из них, необходимое для достижения одинаковой гаммы.

Само собою разумеется, что найденные таким образом величины справедливы только для исследованного сорта эмульсии при определенных фильтрах и источнике света, проявителе и температуре проявления.

Это определение проводится лучше всего путем получения сенситограмм испытуемой эмульсии под соответствующими светофильтрами. Каждая сенситограмма разрезается на несколько частей и проявляется в выбранном для работы проявителе при постоянной температуре. После промера сенситограмм строят кривую зависимости гаммы от времени проявления для каждого из цветоделяющих фильтров и путем графической интерполяции находят требуемое время проявления.

В том случае, когда почему-либо нельзя прибегнуть к такому сенситометрическому испытанию, можно воспользоваться другим, аналогичным приемом.

С помощью испытуемой камеры и светофильтров снимают серую шкалу с достаточным числом полей, например 6—8. После экспонирования пластинки разрезаются на несколько частей и проявляются разное время.

После измерения негативов строят характеристические кривые, причем на оси абсцисс откладывают не логарифмы экспозиций, как обычно, а величины, пропорциональные плотностям ступеней шкалы.

С помощью кривых легкого подбора время проявления, требующееся для получения одинакового контраста.

Требуемое изменение времени проявления при применении одного сорта эмульсии для всех трех негативов обычно сравнительно невелико и сводится чаще всего к увеличению времени проявления синего негатива на 25—40%.

Иначе обстоит дело, когда применяются разные сорта эмульсии, будь то отдельные пластинки или пленки бипака или трипака. В этом случае требуемое время проявления может быть весьма различным.

Так например, для пластинок, применяющихся в камере Vivex (Ilford Hypersensitive, Ilford Selochrome и Ilford Zenith) рекомендуются следующие времена проявления (в проявителе определенного состава) при 18°

для красного негатива	— 11 мин.
„ зеленого „	— 8 „
„ синего „	— 17 „

Для трипака Дефендера имеем следующие данные:

передняя пленка	— 17 мин.
средняя „	— 13 „
задняя „	— 12 „

Для бипака НИКФИ установлены следующие величины (проявитель Агфа № 15 при 18°):

передняя пленка	— 18 мин.
задняя „	— 14 „

При съемке с компенсационным фильтром для обеих пленок требуется одинаковое время.

Вопросы уравнивания гаммы при проявлении отпадают, когда мы для цветоделенной съемки пользуемся либо одним светочувствительным слоем (растровые пластинки), либо многослойной эмульсией. В этих случаях равенство контраста должно обеспечиваться автоматически самими свойствами материала.

Хуже обстоит дело, если три отдельных цветоделенных негатива должны быть проявлены все вместе, например, если они засняты на одном рулоне пленки. С этим придется сталкиваться при цветной съемке с помощью миниатюрных камер (ФЭД, Лейка и т. д.).

В таком случае невозможно выравнять контраст путем проявления и придется добиваться этого в дальнейших стадиях цветного процесса, что, конечно, гораздо труднее.

Выбор значения гаммы, до которого должны быть проявлены цветоделенные негативы, зависит от избранного метода цветной печати.

В случае пигментного процесса, такого, например, как Карбро, проблема сильно упрощается тем, что контраст пигментного изображения почти в точности равен контрасту бромистого отпечатка, с которого оно готовилось.

Однако не совсем ясно, в какой мере это приложимо к серому пигментному изображению, полученному в результате наложения трех цветных компонентов.

Весьма часто полагают, что увеличение контраста цветных изображений (достигаемое в основном путем повышения контраста негативов) улучшает цветопередачу, давая более насыщенные цвета без изменения цветового тона. Однако это является ошибкой. Мак-Адам показал математически и также путем опытного изучения цветопередачи, что при повышении контраста наряду с увеличением насыщенности имеет место и определенное изменение цветного тона.

Повышение контраста приводит для некоторых цветов к весьма значительному изменению цветного тона. Это в особенности выражено для тех цветов, которые состоят из смеси двух или трех первичных, взятых в неравных количествах: оранжевый цвет (красновато-желтый) будет делаться более красноватым, а зеленовато-желтый — более зеленым, в то время как чистый желтый останется без изменения.

Это справедливо как для аддитивного, так и для субтрактивного процесса.

В большинстве случаев получаемый выигрыш в насыщенности не компенсируется получающимся искажением цветового тона. Поэтому для получения правильной цветопередачи необходим подбор соответствующей величины контраста. Выбор этого значения определяется характером самого цветного процесса.

При установлении контраста негативов помимо этих соображений нужно еще принимать в расчет необходимость получения на бромистом позитиве всего интервала плотностей негатива. Это требование не допускает излишне снижать значения гаммы негатива, чтобы не быть вынужденным применять контрастную бумагу с короткой шкалой градации.

Обычно значения гаммы для цветоделенных негативов колеблются примерно от 0,7 до 1,10. Для бипака НИКФИ проявление обеих пленок ведут до $\gamma = 0,7$. Негативы для Карбро проявляются примерно до 0,7 — 0,85. Эти цифры даны в расчете на позитивный материал с гаммой примерно 1,10.

В том случае, когда цветные изображения предназначены для проекции, гамма должна быть несколько больше единицы, примерно 1,2, вследствие потери контраста при проекции.

Увеличение контраста цветоделенных негативов наряду с увеличением их плотности требуется в тех случаях, когда прибегают к их коррекции с помощью метода масок.

К проявителю, применяемому для проявления цветоделенных негативов, не предъявляется никаких специальных требований. Проявитель должен давать хорошо проработанные негативы с указанной гаммой и не быть слишком быстрым, так как это увеличивает опасность неравномерного проявления.

Самое важное — это обеспечить полную равномерность проявления всех трех цветоделенных негативов. Неравномерное проявление приводит к цветным пятнам на окончательном отпечатке, которых не исправить никакой ретушью.

Наш глаз гораздо более чувствителен к нарушениям цветового равновесия, чем к изменениям глубины окраски. Поэтому при небрежном проявлении легко возникают пятна, которые часто могут совершенно испортить изображение.

В этом секрет успешного проявления. Все три пластинки должны быть помещены в одну и ту же кювету, в которую должно быть налито достаточное количество предварительно подогретого проявителя. Следует осторожно удалить пальцем пузырьки воздуха с эмульсии и непрерывно покачивать кювету. Время проявления должно быть не менее пяти минут, чтобы обеспечить однородность проявления. В случае необходимости проявитель должен быть соответствующим образом разбавлен.

Хорошее перемешивание проявителя является необходимым условием получения равномерно проявленных негативов. Перемешивать следует часто, избегая однообразного движения жидкости. Для этого следует покачивать кювету в двух взаимноперпендикулярных направлениях.

Проявление в баке представляет много затруднений в смысле получения абсолютной равномерности. Если станок, несущий пластинки, двигать слишком быстро, то появляются пятна по углам; если же оставлять его в покое на слишком долгое время, то появляются потеки, вызванные освобождающимся при проявлении бромидом, который, стекая по поверхности эмульсии, задерживает проявление. Среднее время проявления в баке должно быть не менее десяти минут.

Весьма важно, чтобы все три негатива были помещены в бак в одном и том же положении. Если, например, речь идет о портрете, то все негативы должны быть помещены так, чтобы головы на них были обращены или все вверх, или все вниз.

При проявлении ландшафтных негативов небо на всех трех негативах должно быть обращено вниз. Нарушение этого правила и является обычно причиной неправильной окраски неба.

Многие работники предпочитают проводить проявление в одной или в отдельных для каждого негатива кювете. Это неудобно при массовой работе, но дает возможность легче получить равномерно проявленные негативы.

Для обеспечения однородных результатов следует всегда применять свежую порцию проявителя для каждой триады негативов.

17. ИСПРАВЛЕНИЕ НЕГАТИВОВ

Исправление цветоделенных негативов с помощью обычных методов усиления и ослабления вполне допустимо, но, для обеспечения полнейшей одинаковости в обработке всех трех негативов требует особенной тщательности в работе.

Для усиления и ослабления можно применять любой из существующих рецептов, дающих достаточно надежные результаты. Тщательный контроль хода процесса, лучше всего с помощью денситометра, является совершенно необходимым.

Если исправлению подлежит только один негатив из триады, то лучше отказаться от обычных химических методов и использовать способ масок. В этом случае мы можем совершенно точно контролировать нужную нам степень исправления и даже подбирать ее путем проб, не рискуя испортить негатив.

Для ослабления негатив совмещают с позитивной маской — диапозитивом, приготовленным путем контактной печати с этого же негатива. Требуемый контраст маски рассчитывается на основе соотношения:

$$\gamma_{\text{комб.}} = \gamma_{\text{нег}} - \gamma_{\text{нег.}} \cdot \gamma_{\text{маски}}$$

Для усиления прибегают к негативной маске — дубликату негатива, сложенного с ним же. Расчет требуемого контраста ведут, пользуясь таким уравнением:

$$\gamma_{\text{комб.}} = \gamma_{\text{нег.}} + \gamma_{\text{маски}}$$

18. ТЕХНИЧЕСКИЕ ТРЕБОВАНИЯ К ЦВЕТОДЕЛЕННЫМ НЕГАТИВАМ

Условия, которым должны удовлетворять цветоделенные негативы в отношении своих сенситометрических характеристик, и допустимые отклонения от этих величин вряд ли могут быть в настоящее время установлены с полной точностью.

Оптимальные значения контраста, интервала плотностей и, особенно, величины допусков зависят в значительной мере от применяемого способа цветной печати. Недоста-

точная практическая изученность большинства этих способов не дает нам возможности уточнить требования к негативам.

Даже для наиболее распространенного у нас в Союзе способа Карбро еще отсутствуют точные технические условия на цветоделенные негативы, выработкой которых занимается в настоящее время научно-исследовательская лаборатория ГУФП. Поэтому мы можем привести только самые общие требования к цветоделенным негативам, выполнение которых обязательно для любого способа цветного позитивного процесса.

Негативы должны иметь изображение контрольной шкалы такого размера, чтобы каждое поле было бы не менее 5 мм для возможности их измерения.

Контраст всех негативов должен быть одинаков*. Величина требуемого контраста определяется характером самого цветного процесса.

Плотности серой шкалы на всех трех негативах должны быть одинаковы**. Допустимы небольшие отклонения, если они могут быть исправлены соответствующим изменением выдержки при позитивной печати.

Плотности негатива должны лежать в области пропорциональной передачи с учетом широты применяемого позитивного материала.

Негативы должны быть равномерно проявлены и совершенно свободны от всякого рода потеков, пятен, засветки и т. п. Должны отсутствовать рефлексy от объектива.

19. КОНТРОЛЬ И ИЗМЕРЕНИЕ ЦВЕТОДЕЛЕННЫХ НЕГАТИВОВ

Весьма строгие требования, которые предъявляются, как мы видели, к цветоделенным негативам в отношении их сенситометрических характеристик, заставляют совершенно отказаться от методов оценки негативов „на-глаз“ и перейти к контролю их качества путем измерения.

Для этого необходимо измерить плотности полей контрольной шкалы с целью установления правильности примененных фильтровых факторов (одинаковость плотностей на всех негативах) и достижения нужной величины контраста, одинаковой для всех негативов.

Эти измерения должны быть еще дополнены определением интервала плотностей каждого из негативов с целью проверки как правильности выдержки, так и контраста объекта съемки.

Для выполнения всех этих измерений требуется прибор, который позволял бы надежно и быстро определять плот-

* См. § 14.

** См. § 11.

ности малых участков (до 3—5 мм) негатива. Этим требованиям удовлетворяет объективный фотоэлектрический денситометр, сконструированный и выполненный в научно-исследовательской лаборатории Главфотопрома С. Ф. Родионовым и Я. И. Бокиником. Схема прибора дана на рис. 77.

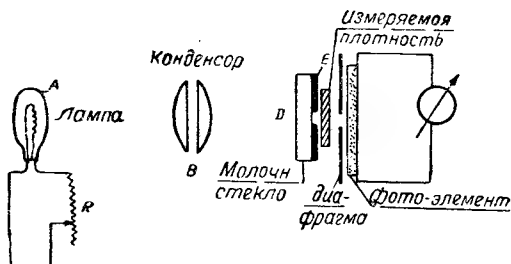


Рис. 77. Схема фотоэлектрического денситометра

Лампа А питается током от 6-вольтового аккумулятора с последовательно включенным в цепь регулировочным реостатом R (2—3 ома). Световой пучок, прошедший через конденсор B и диафрагму, попадает на молочное стекло D .

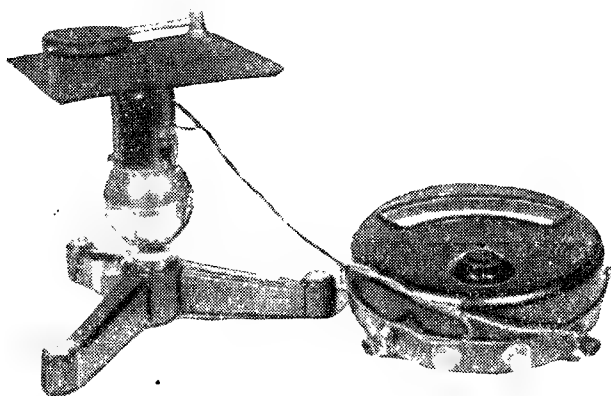


Рис. 78. Общий вид денситометра

Верхняя поверхность этого стекла зачернена, кроме центральной части E диаметром в 3—4 мм, служащей диафрагмой. Измеряемая пластинка кладется на столик G слоем к молочному стеклу. Вентильный селеновый фотоэлемент I , укреплен с помощью установочных винтов на рычаге и может откидываться в сторону.

Непосредственно перед чувствительным слоем фотоэлемента помещена диафрагма с центральным отверстием диа-

метром в 3 мм. Фотоэлемент находится на расстоянии 3—4 мм от измеряемой пластинки. Фототок, возникающий в фотоэлементе, измеряется стрелочным гальванометром с чувствительностью в 2×10^{-7} ампер.

Процедура измерений плотности с этим прибором следующая. Зажигают лампочку прибора и, поставив фотоэлемент против молочного стекла, добиваются с помощью реостата R , чтобы стрелка гальванометра была на делении 100. После этого помещают на пути луча измеряемую пластинку и отсчитывают показание гальванометра. Логарифм этой величины пропорционален измеряемой плотности. Прибор предварительно градуируют по ряду известных плотностей. Общий вид прибора показан на рис. 78.

ОБЩИЙ ОБЗОР СУБТРАКТИВНЫХ МЕТОДОВ ЦВЕТНОЙ ПЕЧАТИ

1. ОСНОВНЫЕ ПРИНЦИПЫ ЦВЕТНОГО ПОЗИТИВНОГО ПРОЦЕССА

Для получения цветного изображения по субтрактивному способу нужно наложить друг на друга в точном совпадении три позитивных изображения, состоящих из соответствующих субтрактивных красителей (субтракторов).

Задачей каждого из таких окрашенных позитивных изображений является удаление из белого света нужных количеств того или иного первичного. Используя то обстоятельство, что в фотографическом позитивном отпечатке с цветоделенного негатива металлическое серебро находится именно в тех местах, в которых соответствующего первичного содержится меньше, чем в белом свете, мы можем легко перейти к требуемому субтрактивному цветному изображению. Для этого требуется только каким-нибудь способом заменить металлическое серебро цветоделенного отпечатка соответствующим субтрактивным красителем, соблюдая при этом переходе строгую пропорциональность, и сложить три таких изображения.

Таким образом всякий трехцветный субтрактивный процесс характеризуется следующими неразрывно связанными друг с другом основными признаками:

Применением красок-субтракторов, грубо говоря, дополнительных к цвету анализирующих фильтров.

Использованием для построения изображения теневых частей цветоделенного фотографического отпечатка (содержащих металлическое серебро).

Наличием трех наложенных друг на друга в точном совпадении прозрачных позитивов, окрашенных в субтрактивные цвета.

Различные методы субтрактивной цветной фотографии могут быть классифицированы в зависимости от способа получения таких окрашенных позитивов.

Переход от цветоделенного негатива к окрашенному позитиву может быть выполнен множеством различных путей. В основном их можно разделить на три большие группы: способы, основанные на разрушении (выцветании) красителей (способы выцветания);

способы, основанные на образовании окрашенных соединений (способы окрашивания);

способы, основанные на задубливании желатины.

2. СПОСОБЫ ВЫЦВЕТАНИЯ

При этих способах мы имеем три светочувствительных слоя, в каждый из которых введен соответствующий краситель. При копировании краситель разрушается или непосредственно под действием света или косвенным путем с помощью образующегося при этом серебряного изображения. Так как выцветание происходит только в тех местах, где действует свет, то копирующий материал дает позитивное изображение.

Старые способы были основаны на фотохимическом разрушении смеси красителей, причем каждый краситель выцветал в количестве, пропорциональном поглощенному им свету. Все эти способы обладали крайне малой светочувствительностью и страдали тем недостатком, что полученное цветное изображение не обладало достаточной светопрочностью.

Поэтому, несмотря на многочисленные попытки усовершенствовать эти процессы, они не удержались в таком виде на практике.

Успешное выполнение принципа выцветания оказалось возможным лишь после того, как в результате работ Лютера (Luter), Крэбтри (Crabtree) и ряда других исследователей был найден способ сочетания принципа разрушения красителей со светочувствительностью бромистого серебра, позволивший использовать высокую чувствительность последнего.

Этот путь мог быть осуществлен в результате отыскания таких реакций, при которых разрушение красителя находится в стехиометрическом отношении к количеству образовавшегося серебра или же последнее каталитически ускоряет распад красителя.

Этот последний способ и лег в основу метода, разработанного Гаспаром (Bela Gaspar) под названием „Гаспар-колор“ и применяемого главным образом для целей цветной кинематографии.

Способ Гаспарколор достаточно подробно изложен в русском переводе книги Клейна „Цветная кинематография“, к которой мы и отсылаем читателя, интересующегося подробностями этого способа. Здесь будут изложены лишь самые общие принципы.

Бромосеребряная эмульсия, содержащая краситель нужного основного цвета, после освещения под соответствующими цветоделенными позитивами проявляется, и выделившееся серебро удаляется при помощи специально подобранного отбеливателя. В результате реакции между отбеливателем и металлическим серебром происходит разрушение содержащегося в слое красителя в количестве, пропорциональном количеству металлического серебра изображения. Технически этот способ выполняется в виде трехслойной эмульсии, каждый из слоев которой содержит соответствующий краситель.

3. СПОСОБЫ ОКРАШИВАНИЯ

В этих способах металлическое серебро цветоделенного позитива в результате определенной химической реакции заменяется образующимся при этом окрашенным соединением.

Наиболее простой и давно известный способ реализации этого принципа состоит в вирировании (тонировании) цветоделенного позитива в соответствующий субтрактивный цвет. Этот метод широко применяется при двуцветном синтезе, а в последнее время также и в трехцветном способе цветной фотографии, выпущенном фирмой Дефендер под названием „Хроматон“.

Вместо того, чтобы замещать серебро на окрашенное соединение путем вирирования, можно перевести его в такое соединение, которое действует подобно протраве и способно удерживать краску путем адсорбции. В этом случае количество адсорбированной краски не вполне пропорционально количеству серебра, что представляет значительное неудобство. Практическим осуществлением этого принципа является способ „Увахром“, предложенный Траубе (Traube).

Другой путь получения окрашенного соединения, заменяющего металлическое серебро изображения, использует принцип так называемого цветного проявления.

Этот метод, получивший в последнее время большое развитие, основан на образовании красителей при процессе проявления скрытого изображения. Существуют два варианта этого принципа, в одном из которых, основанном на работах Гомолка (Homolka) и Фишера (Fischer), используются красители, представляющие собой продукты оки-

сления некоторых проявляющих веществ, например тионин-доксила и т. п.

В другом способе, получившем наибольшее техническое распространение, пользуются реакцией сочетания ароматических аминов с фенолами в краситель под влиянием окислителя, роль которого в данном случае выполняет освещенное бромистое серебро.

Принцип цветного проявления нашел себе практическое приложение в двух новых способах цветной фотографии: „Кодахром“ фирмы Кодак (1935 г.) и „новый Агфакolor“ фирмы Агфа (1937 г.).

В обоих этих способах применяются особые многослойные светочувствительные материалы и цветоделение по субтрактивному способу.

Пленка Кодахром представляет собой три тонких эмульсионных слоя, обладающих разной спектральной чувствительностью и политых на одну и ту же подложку. Самый нижний слой состоит из панхроматической эмульсии, чувствительной к красным лучам. Поверх него полит слой ортохроматической эмульсии, отделенной от нижнего слоя тонким желатиновым слоем, окрашенным в пурпуровый цвет. Верхний слой состоит из несенсибилизированной эмульсии и отделен от среднего слоя тонкой прослойкой желатины, окрашенной в желтый цвет.

После проявления (без фиксирования) серебро негативного изображения удаляется путем отбеливания, и пленка после засвечивания пропускается через серию баков, в которых она подвергается следующим операциям.

Все три отбеленных изображения проявляются в проявителе, дающем в результате сочетания продуктов его окисления с фенолами позитивное сине-зеленое изображение, наряду с металлическим серебром.

Пленка подвергается отбеливанию в особом, медленно диффундирующем вглубь растворе, в котором отбеливаются только два верхних изображения. При этом их окраска разрушается.

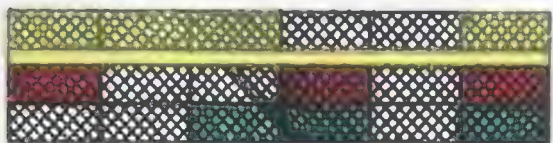
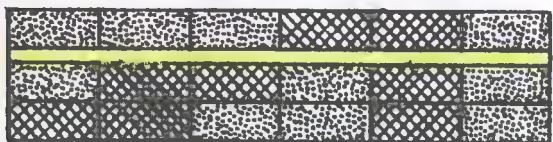
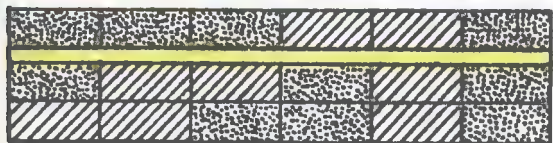
Эти отбеленные изображения проявляются теперь в проявителе, дающем пурпурное изображение.

Пленка снова переходит в отбеливатель, в котором остается до отбеливания только верхнего слоя.

Пленку проявляют в проявителе, дающем желтое изображение.

Удаляют все выделившееся серебро, не затрагивая при этом окраски.

Способ новый Агфакolor использует аналогичный трехслойный материал, но способ получения цветного изображения несколько отличается от принятого в способе Кодахром.



БРОМИСТОЕ СЕРЕБРО



СКРЫТОЕ ИЗОБРАЖЕНИЕ



МЕТАЛЛИЧЕСКОЕ СЕРЕБРО

Рис. 79. Схема способа Агфаколор

Для способа Агфаколор применяется один проявитель, дающий изображения разных цветов (сине-зеленого, пурпурового и желтого) в зависимости от природы второго компонента, с которым он сочетается. Этот второй компонент красителя включен в эмульсионный слой. Верхний слой содержит компонент для желтого красителя, средний — для пурпурового и нижний — для сине-зеленого.

После экспозиции пленка проявляется в обычном проявителе, но не фиксируется. Затем оставшееся галоидное серебро засвечивается и проявляется в упомянутом „цветном проявителе“, дающем сразу во всех трех слоях окрашенное в соответствующий цвет позитивное изображение. После удаления металлического серебра остается прозрачное цветное изображение (рис. 79).

Оба эти метода значительно уступают в смысле цветопередачи аддитивным растровым процессам, хотя и имеют перед ними преимущество вследствие отсутствия зернистой структуры, вызванной растром. Малая широта, свойственная всем процессам, использующим обращение негатива, сказывается здесь в еще более сильной степени, чем для растровых способов. Это вынуждает к очень точному определению экспозиции, требующему, в свою очередь, введения поправок на показания экспонометра, скорость затвора, фактическую светосилу объектива и т. п. Размножение таких изображений и получение с них копий на бумаге наталкивается на значительные трудности, аналогичные тем, которые имеют место для растровых процессов.

4. СПОСОБЫ, ОСНОВАННЫЕ НА ЗАДУБЛИВАНИИ ЖЕЛАТИНЫ

Множество разнообразных способов этой группы объединяется тем общим признаком, что все они используют свойство смеси желатины с солями хромовой кислоты (хромированная желатина) дубиться, т. е. терять способность растворяться или набухать в воде. Это дубление желатины может происходить под действием света или в результате химических реакций с участием металлического серебра позитивного изображения.

Обзор способов, служащих в настоящее время для получения цветных изображений на непрозрачных подложках, показывает, что большинство практически применяемых методов основано именно на этом принципе.

Обычно дубление желатины происходит под влиянием солей окиси хрома, образующихся в результате восстановления хромовокислых солей, введенных в желатину. Такое восстановление хромовокислых солей может быть осуществлено различными агентами, которые таким образом могут вызывать дубление хромированной желатины. За-

дубленая желатина, теряя при этом свою способность набухать или растворяться в горячей воде, дает возможность получить рельефное желатиновое изображение. Такой желатиновый рельеф может быть осуществлен двумя путями.

Во-первых, можно воспользоваться тем, что задубленная желатина теряет в той или иной степени способность набухать в воде в зависимости от степени задубливания.

При смачивании водой задубленные места желатинового слоя набухают в меньшей степени, чем незадубленные, и мы получаем рельефное изображение. Такой „рельеф набухания“ хорошо заметен при рассматривании влажного изображения под малым углом и исчезает при высыхании.

Во-вторых, можно использовать и другое свойство задубленной желатины — более высокую точку плавления по сравнению с незадубленной. Обработывая желатиновое изображение на хромированной желатине горячей водой такой температуры, чтобы незадубленная желатина расплавилась, а задубленная осталась нетронутой, можно удалить всю незадубленную желатину и получить рельефное изображение, состоящее только из задубленной желатины — так называемый „рельеф вымывания“.

Передача светов и теней изображения в этих методах осуществляется путем различий в высоте желатинового рельефа в соответствующих местах. Однако высота этого рельефа в обоих способах обуславливается разными причинами. При рельефе набухания степень набухания, а, следовательно, и высота набухшего рельефа определяются степенью задубленности желатины. При вымывном способе незадубленная желатина целиком удаляется и остается лишь полностью задубленная желатина. Поэтому в данном способе высота рельефа определяется толщиной слоя задубленной желатины, т. е. той глубиной, на которую дубящее действие (свет, химические реактивы и т.п.) проникло внутрь желатинового слоя (рис. 80).

При рельефе набухания мы должны получить желатиновое изображение, в котором различные места задублены в неодинаковой степени, причем это дубящее воздействие проникает приблизительно одинаково глубоко в слой. Напротив, в способе вымывного рельефа мы должны получить одинаковое и по возможности максимальное задубливание, но на разную глубину слоя.

В силу такого различия между двумя этими видами желатинового рельефа способы их получения должны несколько отличаться друг от друга.

Как и всякое фотографическое изображение, желатиновое рельефное изображение должно удовлетворять требованиям пропорциональности передачи; степень задубли-

вания желатины при рельефе набухания или толщина задубленного слоя для вымывного рельефа должна быть пропорциональна яркости оригинала.

При соответствующем проведении процесса все методы, использующие задубливание, удовлетворяют этому условию в весьма высокой степени.

Характеристические кривые для этих способов имеют вид прямой линии почти на всем протяжении доступных плотностей. Это свойство изображений на хромированной

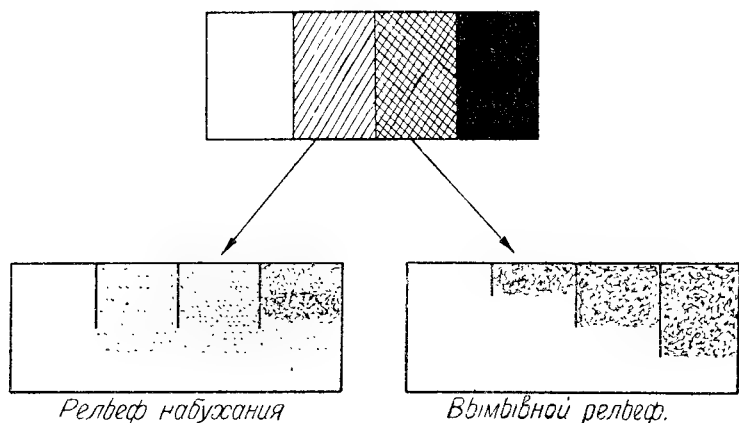


Рис. 80. Два вида дубления

желатине является особенно ценным именно для цветной фотографии, в которой пропорциональность передачи имеет особенно большое значение. Этим в значительной степени и объясняется широкое распространение таких процессов.

Практическое осуществление способа вымывного рельефа наталкивается на одно существенное затруднение. Так как дубящее действие даже в самых плотных местах изображения не достигает той подложки (бумага, пленка), на которую полит желатиновый слой, то при последующей обработке изображения в горячей воде („проявление“) незадубленная желатина, прилегающая к подложке, расплавится, и изображение будет смыто с подложки. Для избежания этого процесс ведут так, чтобы дубление началось с подложки, а не с поверхности слоя, или же прибегают к так называемому процессу переноса. Последний заключается в том, что желатиновый слой после дубления перед проявлением в горячей воде переносится на новую подложку таким образом, чтобы поверхность слоя, несущая на себе задубленное изображение, прилегала к подложке, а внутренние, незадубленные части были обращены наружу.

Этим приемом предотвращается упомянутое сползание изображения, которое удерживается теперь на новой подложке, на которой и ведется проявление.

Рельеф набухания, в котором незадубленная желатина не удаляется из слоя, очевидно, не нуждается в такого рода переносе.

5. ПОЛУЧЕНИЕ ЦВЕТНЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ С ПОМОЩЬЮ ХРОМИРОВАННОЙ ЖЕЛАТИНЫ

Полученное рельефное желатиновое изображение для цветной репродукции должно быть окрашено соответствующим красителем.

I. Пользуясь желатиновым слоем, уже заранее содержащим нужную краску в виде тонко растертого нерастворимого в воде красителя (пигмент), можно, удалив из горячей воды всю незадубившуюся желатину, получить таким способом рельефное желатиновое изображение, окрашенное в соответствующий цвет. Три полученных таким путем окрашенных изображения, сложенные друг с другом с помощью тех или иных технических приемов, и дадут готовое цветное изображение.

II. Получив с помощью вымывного рельефа рельефное изображение из бесцветной желатины, его окрашивают в нужный цвет в водном растворе соответствующей краски. В этом случае толщина рельефа будет определять собой количество впитанного красителя и, следовательно, интенсивность окраски. Если теперь такой окрашенный рельеф (матрица) привести в тесное соприкосновение с желатиновым слоем, нанесенным на бумагу, пленку и т. п., то краситель из матрицы будет переходить в этот слой, давая таким образом окрашенное изображение (способ гидротипии). Количество краски, перешедшей на желатиновый слой, будет пропорционально количеству краски, находящейся в данном месте матрицы, т. е. толщине рельефа последней.

Нанеся три таких окрашенных изображения друг на друга, получим требуемую цветную репродукцию.

Можно также использовать свойство некоторых красок окрашивать в различной степени набухшую незадубленную и не набухшую задубленную желатину.

Получив тем или иным путем рельеф набухания, мы можем, нанеся на него краску, получить желатиновое изображение (матрицу), в котором будут окрашены светлые или темные места в зависимости от свойств примененной краски. Перенос такого окрашенного изображения на бумагу совершается либо путем гидротипной печати (в случае водно-растворимых красок), либо способом, аналогичным типографскому (с жирными красками).

Первые два способа применимы только для вымывного рельефа, а последний — только для рельефа набухания.

Многочисленные способы цветной позитивной печати, основанные на использовании хромированной желатины, могут быть разделены на две большие группы в зависимости от того, чем вызывается дубление желатины. К первой группе относятся те методы, в которых используется светочувствительность хромированной желатины, т. е. ее способность дубиться под действием света. Вторую группу составляют способы, в которых желатина дубится в результате химических реакций без участия света. В этих последних способах для дубления используются химические реакции, протекающие при образовании или разрушении серебряного фотографического изображения и, следовательно, косвенно связаны с действием света на бромистое серебро.

Дальнейшую классификацию внутри этих групп можно провести, разделяя их по типу образующегося рельефного изображения на способы вымывного рельефа и рельефа набухания. Способ окрашивания полученного рельефного изображения служит основой для третьей ступени классификации.

6. СПОСОБЫ, ОСНОВАННЫЕ НА СВЕТОЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ ХРОМИРОВАННОЙ ЖЕЛАТИНЫ

Дубление смеси желатины с бихроматом под действием света было открыто Фоксом Тальботом в 1852 г. и применено им для травления по стали. Однако передача полутонов с помощью этого способа могла быть осуществлена только после того, как Лабордр (Labordre) и Бернетт (Burnett) в 1860 г. предложили вести освещение со стороны подложки. Сван (Swan) в 1864 г. изобрел процесс переноса, который и применяется теперь для всех подобных процессов.

Рассматриваемый процесс применяется для цветной фотографии в так называемом пигментном процессе. Слой желатины, содержащей тонко растертую нерастворимую в воде краску (пигмент) соответствующего цвета, очувствляется к свету с помощью двуххромовокислых солей и экспонируется под цветоделенным негативом. После переноса и обработки в горячей воде получается рельефное цветное изображение.

В пигментном процессе используется образование вымывного рельефа на окрашенной (пигментированной) желатине. В подобного рода способах толщина полученного рельефа в известной степени зависит от температуры проявляющей воды и от времени проявления. Этим можно воспользоваться для исправления цветового баланса.

Принцип пигментного процесса применяется в способе Бельколор (Belcolor), которым часто пользуются при типографском воспроизведении для получения подобных оттисков.

Гидротипные пигментные процессы. В этих способах вымывной рельеф образуется на бесцветной желатине и окрашивается затем водно-растворимыми красками. Перенос краски с матрицы на подложку совершается путем гидротипной печати.

Такой метод был впервые предложен Меркенсом (Merckens) и Смитом (Smith) в 1906 г. Они применяли для окрашивания рельефа основные краски, которые переносились затем на нитроцеллюлозу.

Образование рельефа набухания после печати на хромированной желатине составляет основу способа пинатипии. В этом способе рельеф набухания, полученный при действии света на хромированную желатину, окрашивается в соответствующий цвет в водном растворе специальных (пинатипных) красок. Красители впитываются незадубленными местами желатинового изображения, а в задубленные почти не впитываются. Печать на хромированную желатину ведется поэтому в данном случае не с негатива, а с диапозитива с тем, чтобы получить негативное рельефное изображение. Окрашенное таким способом желатиновое изображение служит матрицей, переносящей краску на бумагу.

Аналогичный принцип окрашивания рельефа набухания используется в масляном процессе.

Однако в этом способе для окрашивания применяют жирную краску типа литографской, которая не пристает к набухшим, незадубленным местам изображения и, напротив, удерживается задубленными. В силу этого печать ведется нормально с негатива.

Основным недостатком всей этой группы методов является малая светочувствительность хромированной желатины, требующая применения интенсивного света (обычно ртутные или дуговые лампы) даже при контактной печати. Для увеличения приходится изготавливать сначала увеличенные негативы или диапозитивы (для пинатипии), что, конечно, представляет собой весьма существенное неудобство.

7. СПОСОБЫ, ОСНОВАННЫЕ НА ХИМИЧЕСКОМ ДУБЛЕНИИ ЖЕЛАТИНЫ

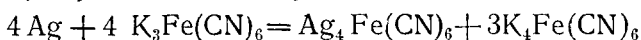
Способы, использующие для создания желатинового рельефного изображения дубление желатины под действием некоторых химических реакций без участия света, связаны с разрушением или образованием серебряного фотографического изображения.

Такого рода реакции протекают при отбеливании серебряного изображения в хромовом отбеливателе.

В результате реакции между металлическим серебром и хромовокислыми солями последние восстанавливаются до солей окиси хрома, которые и дубят желатину. Количество образовавшейся окисной соли и, следовательно, задубленной желатины пропорционально количеству отбеленного металлического серебра.

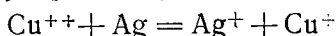
Реакция восстановления хромовокислых солей, приводящая к задубливанию желатины, может происходить не непосредственно под действием металлического серебра, а косвенным способом.

Так например, при отбеливании серебряного изображения красной кровяной солью (ферроцианидом калия) $K_3Fe(CN)_6$ происходит следующая реакция:



в результате которой образуется желтая кровяная соль (ферроцианид калия $K_4Fe(CN)_6$). Последняя восстанавливает хромовокислые соли до солей окиси хрома, задубливающих желатину.

Аналогичные реакции протекают при действии солей окиси меди на серебро изображения:



Ионы закиси меди, образующиеся при этой реакции, также переводят хромовокислые соли в дубящие хромовые соединения.

В некоторых способах этой группы дублению подвергается желатина самого эмульсионного слоя, содержащего отбеливаемое металлическое изображение. Задубленная таким способом желатина может быть использована как для образования рельефа набухания, так и для вымывного рельефа.

Способы, основанные на отбеливании, следующие:

Бромомасляный способ (бромойль). Позитивное серебряное изображение отбеливается в специальном отбеливателе, содержащем медные и хромовокислые соли. Вызванный затем рельеф набухания окрашивается жирной краской так, как это описано было при масляном процессе.

Способ вымывного рельефа Кодака. Позитивное серебряное изображение получается путем печати на позитивную пленку с обратной стороны (через прозрачную целлулоидную подложку). После проявления, фиксирования и промывки серебряное изображение отбеливается в кислом растворе двуххромовокислого аммония. Незадубившаяся при этом желатина удаляется обработкой в горячей воде и полученный рельеф окрашивается гидротипными способами.

В описанных здесь способах серебряное изображение находится в слое задубливаемой желатины. Другие способы применяют так называемое контактное отбеливание, в котором задубливаемая желатина и серебряное изображение находятся в различных слоях, приводящихся в тесный контакт друг с другом. В этом случае образование хромовых солей, дубящих желатину, происходит косвенным образом в результате реакции между бихроматом и ферроцианидом, образующимся при отбеливании изображения с помощью красной кровяной соли. Для этих способов характерно наличие диффузии реагирующих веществ—бихромата и образовавшегося в отбеливаемом слое ферроцианида навстречу друг другу.

Способы, использующие такое контактное дубление, неизбежно требуют переноса, так как мы не имеем в данном случае возможности вести процесс таким образом, чтобы дубление начиналось не с поверхности желатинового слоя (который соприкасается с отбеливаемым изображением), а с его подложки.

К этим способам относятся:

Способ Карбро. Пигментированная желатина, пропитанная раствором отбеливателя, приводится в тесной контакт с цветоделенным позитивом. Продукты отбеливания, проникая путем диффузии в желатиновый слой, вызывают дубление желатины. Глубина проникновения этих продуктов в слой определяется количеством отбеленного серебра. После обработки в горячей воде получается вымывной рельеф из окрашенной пигментированной желатины.

Аналогичный принцип используется в способе **Да й б р о**, с той только разницей, что здесь применяется неокрашенная желатина, которая окрашивается затем гидротипным способом.

Способы контактного отбеливания, в особенности Карбро, имеют большое практическое значение и широко применяются на Западе и у нас в Союзе. Самый принцип получения задубленного изображения путем диффузии дубителя внутрь желатинового слоя весьма благоприятен для получения вымывного рельефа с хорошей передачей полутонов.

Задубливание желатины можно вызвать не только при разрушении серебряного изображения путем его отбеливания, но и при образовании металлического серебра. Эта возможность основана на том факте, что некоторые проявители (пирогаллол и пирокатехин) сильно задубливают желатиновый слой при проявлении. Можно подобрать такие условия, чтобы количество задубленной желатины было строго пропорционально количеству выделившегося при проявлении серебра. Таким путем можно получить

требующийся желатиновый рельеф вымывания или набухания. Этот принцип применяется в ряде процессов, использующих такое дубящее проявление.

Способы, основанные на дубящем проявлении, следующие:

Способ **Дуксохром** (Колорстил в Америке). Для этого способа применяется специальная бромосеребряная позитивная пленка, эмульсионный слой которой содержит пигментную краску соответствующего цвета.

На эту пленку печатают с цветоделенного негатива с стороны целлулоидной подложки и проявляют в дубящем проявителе. После обработки в горячей воде и удалении металлического серебра в перманганатном отбеливателе получается рельефное желатиновое изображение, окрашенное в требуемый цвет содержащимся в нем пигментом.

Совершенно тем же принципом пользуются и в способе **Техниколор**, который применяется главным образом в цветной кинематографии. Разница по сравнению со способом Дуксохром заключается (помимо несколько измененной репептуры) в том, что печать производится на не содержащую пигмента позитивную пленку, и изображение из неокрашенной желатины окрашивается гидротипным способом.

Образование рельефа набухания посредством дубящего проявления составляет основу способа **Иоз-пе**, в котором рельеф набухания, полученный в результате дубящего проявления, окрашивается пинатипными красками.

8. КОНТРОЛЬ ЦВЕТНЫХ ПОЗИТИВОВ

Во всех процессах субтрактивной цветной фотографии проблема так называемого „цветного баланса“, т. е. надлежащего соотношения между интенсивностями окраски цветных позитивов, является одной из самых трудных задач. Между тем даже при соблюдении всех условий, необходимых для получения надлежащих цветоделенных позитивов, сравнительно редко удается с первого же раза обеспечить надлежащий баланс цветных позитивов. Это объясняется главным образом тем, что сам процесс цветной печати, даже при его безупречном проведении, не всегда может гарантировать правильное воспроизведение плотностей цветоделенного позитива. Большинство способов субтрактивной фотографии дает возможность исправления баланса цветных позитивов в более или менее широких пределах. Это, конечно, является большим преимуществом, но вызывает необходимость измерения количества краски (пигмента или т. п.), образующих цветной позитив, для того чтобы установить правильное соотношение между ними.

Задачи подобного рода приходится разрешать как в процессе производства цветных изображений в целях кон-

троля качества цветных позитивов, так и при разработке условий, обеспечивающих точность цветопередачи.

При проведении измерений нужно иметь в виду конечную цель всех наших операций — получение готового цветного изображения. Поэтому система их должна быть разработана таким образом, чтобы можно было установить определенный критерий пригодности данных цветных позитивов для построения правильного цветного изображения.

Передача серой шкалы вполне нейтральной и с правильной передачей всех ее ступеней не является еще достаточной для получения правильной цветовой репродукции, но при нарушении этого мы не можем уже рассчитывать на правильную цветопередачу. Поэтому естественно оценивать качество цветных позитивов по их способности правильно воспроизводить в совокупности серую шкалу. Такая характеристика, не охватывая всех свойств, требующихся для получения правильного цветного изображения, удобна тем, что позволяет оперировать не с различными окрашенными изображениями, а с серыми тонами, для которых мы можем привлечь разработанный аппарат фотографической сенситометрии.

Способ оценки цветных позитивов, основанный на этом принципе, был предложен недавно Ивенсом (Evens). Полагая, что нейтрально-серый цвет может быть получен в результате субтрактивного синтеза с помощью равных количеств всех трех субтракторов, то и, наоборот, можно считать, что количества этих субтракторов друг другу равны или эквивалентны, если они при субтрактивном смешении дают нейтрально-серый цвет. Плотность полученного таким образом серого тона будет определенным образом связана с количествами образующих его субтракторов.

Исходя из этого, Ивенс вводит понятие „эквивалентной плотности“ субтрактора, определяя его как оптическую плотность того нейтрально-серого тона, который получится при субтрактивном смешении данного количества этого субтрактора с остальными двумя субтракторами, взятыми в пропорциях, как раз достаточных для получения нейтрально-серого цвета.

Очевидно, что, согласно этому определению, эквивалентные плотности всех субтракторов, образующих серый цвет, будут равны между собой.

При этом надо иметь в виду, что применяемая на практике красителей оптическая плотность серого цвета, получаемого в результате их субтрактивного смешения, всегда будет больше, чем максимальное поглощение любого из них. Это происходит потому, что реальные красители, не будучи оптимальными, обладают некоторым поглощением при любой длине волны. Рис. 81, заимствованный из работы

Ивенса, иллюстрирует этот случай. Сложение ординат всех трех кривых поглощения красителей для каждой длины волны приводит к линии *B*, представляющей спектральное поглощение нейтрально-серого цвета, получившегося в результате субтрактивного синтеза. Оптическая плотность этого серого значительно больше, чем максимальное поглощение любого из красителей.

Пользуясь понятием эквивалентной плотности, можно построить „эквивалентную характеристическую кривую“ монохромного цветного изображения, нанося на график эквивалентные плотности относительно концентраций красителя или пропорциональных им величин плотностей цветоделенных позитивов. Легко видеть из самого определения эквивалентной плотности, что для правильной передачи серой шкалы эквивалентные характеристики всех трех монохромных цветных изображений должны совпадать друг с другом или хотя бы обладать одинаковым наклоном („эквивалентный контраст“). Это, как видно, является цветовым эквивалентом условия равенства значений гаммы для цветоделенных негативов.

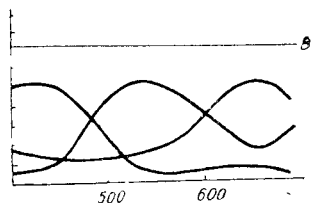


Рис. 81. Получение результирующей серой плотности по Ивенсу

Ивенсом был сконструирован простой прибор для измерения эквивалентных плотностей. Он устроен по принципу клинового денситометра Кэпстаффа, широко распространенного в наших лабораториях. Прибор, схема которого приведена на рис. 82, содержит помимо обычного серого фотометрического клина, еще три цветных клина, изготовленных из тех же красителей, которые применяются для данного цветного процесса. С помощью этих цветных клиньев к исследуемому цвету подмешиваются два остальных до получения серого, плотность которого (эквивалентная плотность) измеряется обычным путем посредством фотометрического клина.

Для пигментных красителей, которые дают не вполне прозрачные окрашенные слои, цвет субтрактивной смеси зависит от порядка, в котором они расположены. Это создает довольно значительные неудобства при применении субтрактивного денситометра Ивенса.

Система Ивенса исходит опять-таки из допущения, что смешением трех красок можно получить нейтрально-серый тон. Это утверждение, как мы уже упоминали ранее, не вполне справедливо.

Роль красителя-субтрактора в субтрактивном синтезе заключается в поглощении одного из первичных. Поэтому

было бы целесообразным использовать это свойство субтракторов для их количественной характеристики, измеряя плотность цветного позитива (цветовая плотность) через фильтр дополнительного цвета. Такой способ цветовых измерений был разработан Хеймером и Зундгоффом (Heimer und Sundhoff).

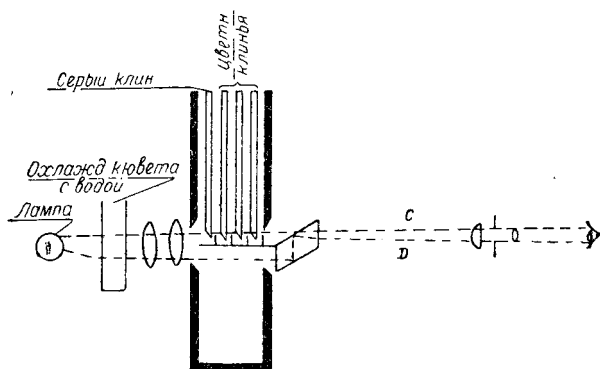


Рис. 82. Схема цветового денситометра по Ивенсу.

производят измерения, имеет решающее значение. Для измерения следует применять фильтры с возможно более узкими зонами пропускания, которые должны по возможности лежать в области максимума поглощения исследуемого красителя.

Для того чтобы устранить влияние на результат взаимного расположения областей пропускания и поглощения для фильтра и красителя, устанавливают связь между определенными таким образом цветовыми плотностями и эквивалентными плотностями. Это выполняется путем промера трехцветных шкал, подобранных таким образом, что они дают при сложении шкалу серых тонов.

Установив таким образом для применяемых красителей в используемом интервале плотностей зависимость (обычно линейную) между эквивалентными и цветовыми плотностями, переводят затем последние, определенные с помощью визуальных промеров, в эквивалентные.

Недостатком способа Хеймера-Зундгоффа является необходимость применения очень темных светофильтров, что сильно затрудняет измерения.

Сравнительная оценка различных способов контроля цветных позитивов в настоящее время разрабатывается в научно-исследовательской лаборатории ГУФП.

СПОСОБ КАРБРО

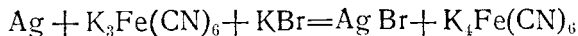
1. ПРИНЦИП СПОСОБА КАРБРО

Способ Карбро является в сущности улучшением и развитием способа Озобром, предложенного Менли (Menly) в 1905 г. В настоящее время способ Карбро является одним из самых распространенных и наиболее совершенных методов цветной фотографии несмотря на некоторую сложность требующихся операций.

Принцип метода состоит в том, что задубливание желатины, приводящее к образованию рельефа, совершается в результате химической реакции между металлическим серебром фотографического позитивного изображения и оцувствляющими веществами, пропитывающими пигментный слой.

В качестве таких оцувствляющих веществ применяются растворы двуххромовокислых калия или аммония, хромовой кислоты, феррицианида калия (железосинеродистый калий красная кровяная соль) и бромистого калия.

Лист бумаги, покрытой желатиновым слоем, содержащим тонко растертый нерастворимый в воде краситель (пигментная бумага), пропитывается этими оцувствляющими растворами и приводится в тесный контакт (притирается) к влажному бромосеребряному цветоделенному позитиву. Оцувствляющие вещества, содержащиеся в пигментном слое, диффундируют из него в эмульсионный слой бромистого отпечатка и вступают в химическую реакцию с серебром фотографического изображения. Феррицианид и бромистый калий реагируют с серебряным изображением:



образуя бромистое серебро и ферроцианид калия $\text{K}_4\text{Fe}(\text{CN})_6$ (железистосинеродистый калий, желтая кровяная соль). Далее, образовавшийся ферроцианид, диффундируя в пигмент-

ный слой, реагирует с находящимся там бихроматом. Ход этой последней реакции еще неясен, но во всяком случае в результате бихромат восстанавливается до соли окиси хрома (скорее, вероятно, до хромихромата (Cr_5O_8 или Cr_8O_{21}), а ферроцианид окисляется до феррицианида. Наконец, образовавшаяся соль окиси хрома дубит желатину в местах своего образования. Механизм этой последней реакции тоже еще неясен.

После окончания всех этих реакций, пигментный лист отделяется от бромистого отпечатка, притирается к листу целлулоида и обрабатывается в горячей воде. При этом незадубленная желатина смывается и на целлулоиде остается рельефное изображение, состоящее из окрашенной пигментированной желатины. Толщина рельефа, а, следовательно, и плотность окраски в каждом месте изображения пропорциональна количеству серебра в данной точке соответствующего цветоделенного позитива.

Полученные таким путем три окрашенные рельефные позитива переносятся на бумагу и накладываются друг на друга, давая готовое цветное изображение.

2. МЕХАНИЗМ ОБРАЗОВАНИЯ ПИГМЕНТНОГО ИЗОБРАЖЕНИЯ В СПОСОБЕ КАРБРО

Для получения точного воспроизведения цветоделенного позитива толщина полученного рельефа должна быть строго пропорциональной количеству металлического серебра изображения. Для этого необходимо выполнение ряда условий, с которыми мы познакомимся при разборе механизма образования пигментного изображения. Реакции, протекающие при этом, впервые были с достаточной полнотой исследованы Лайтоном (Lighton).

Изображение в карбро-отпечатке является в конечном счете продуктом реакции между бихроматом и диффундирующим в слой ферроцианидом. Поэтому толщина рельефа в каждой его части, а следовательно и количество пигмента, зависят от толщины того слоя желатины, в которой произошла упомянутая реакция между бихроматом и ферроцианидом. При этом нужно иметь в виду, что реакция идет не мгновенно, а с некоторой измеримой и притом небольшой скоростью. Принимая же во внимание, что ферроцианид диффундирует в толщу пигментного слоя также с некоторой скоростью, мы приходим к заключению, что толщина рельефа определяется тем расстоянием, которое успевает пройти ферроцианид до того, как он будет полностью окислен бихроматом.

Это расстояние, являющееся главным фактором, определяющим толщину рельефа, т. е. плотность окраски, зависит

в основном от количества металлического серебра, скорости образования ферроцианида, скорости диффузии образовавшегося ферроцианида в глубь пигментного слоя и от скорости реакции между бихроматом и ферроцианидом.

Подробный разбор механизма действия всех этих факторов поможет нам уяснить себе условия, в которых происходит образование пигментного карбро-изображения и даст возможность рационального управления процессом.

Скорость образования ферроцианида, т. е. количество ферроцианида, образующегося в единицу времени, зависит как от концентрации отбеливающих веществ (феррицианида и бромистого калия), так и от количества металлического серебра, и его состояния (степень дисперсности, глубина расположения и т. д.).

Изменение концентрации отбеливателя играет довольно малую роль, и уже при обычно применяемой концентрации в 1% достигается постоянство скорости отбеливания.

Металлическое серебро изображения, напротив, имеет несравненно большее значение для скорости процесса, который, как мы увидим далее, является решающим для передачи тонов в Карбро-процессе.

Как показал Лайтон, скорость отбеливания серебряного изображения неодинакова в различных его частях и в светах она больше, чем в тенях. Такой характер зависимости легко объясним, если вспомнить, что серебро в светлых местах изображения более раздроблено, т. е. обладает большей удельной поверхностью, подверженной действию реагентов, и кроме того расположено в поверхностном слое по сравнению с серебром в тенях.

Вследствие большей скорости отбели в светах, скорость поступления ферроцианида в слой также будет большей в светах, чем в тенях.

Скорость диффузии ферроцианида в слой зависит в основном от степени набухания желатинового слоя, которое в свою очередь зависит от продолжительности набухания, pH среды, температуры и отчасти от свойств самого слоя.

Из этих факторов особенное внимание следует обратить на pH, которое, регулируя набухание желатины, влияет на количество впитанных ею реагентов и также на самый процесс дублирования.

Диффузия протекает с одинаковой скоростью для всех частей изображения и таким образом разница в скоростях образования ферроцианида, о которой мы говорили выше, приводит при достаточной скорости диффузии к тому, что в желатиновый слой проникает в единицу времени больше ферроцианида со светлых мест изображения, чем с темных.

Скорость последнего процесса — окисления ферроцианида — определяется главным образом соотношением концен-

трации компонентов реакции, т. е. ферроцианида и бихромата. Чем больше бихромата по отношению к ферроцианиду, тем скорее идет окисление последнего и обратно.

В результате процесса диффузии образующийся ферроцианид непрерывно поступает внутрь желатинового слоя и вступает в реакцию с бихроматом. Легко видеть, что длина пути, пройденного ферроцианидом в желатине, определяется, помимо его общего количества, еще и соотношением между скоростью его проникновения в слой и скоростью окисления при реакции с бихроматом. При одном и том же количестве ферроцианида он пройдет в слой тем дальше, чем больше скорость его проникновения, поскольку скорость его окисления бихроматом меньше скорости диффузии и скорости отбеливания. Таким образом быстро диффундирующий в слой ферроцианид сможет пройти большее расстояние до своего окончательного окисления бихроматом, чем то же самое количество ферроцианида, но поступающего в слой более медленно.

Совершенно аналогичным образом действует и изменение концентрации бихромата. Чем меньше концентрация бихромата в слое, тем медленнее будет идти реакция окисления ферроцианида и тем больший путь он сможет пройти. Обратное соотношение будет иметь место при высокой концентрации бихромата.

3. ВЛИЯНИЕ УСЛОВИЙ РЕАКЦИИ НА ХАРАКТЕР ПИГМЕНТНОГО ИЗОБРАЖЕНИЯ

Изменение глубины проникновения ферроцианида в зависимости от скорости его образования и окисления играет

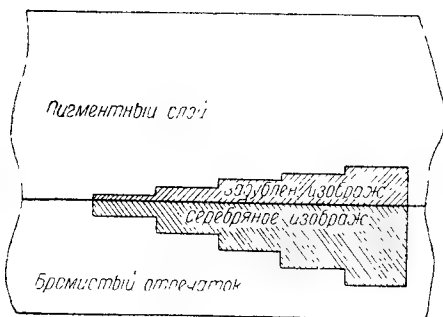


Рис. 83. Схема действия крепкого раствора бихромата в способе Карбро

существеннейшую роль в образовании и характере пигментного изображения. При большой скорости окисления или, что равноценно, при малой скорости отбеливания толщина задубленного слоя будет мала, и рельефное изображение будет обладать малым контрастом. Это будет наблюдаться при высокой концентрации бихромата или при малой концентрации отбеливателя.

Обратное будет наблюдаться с разбавленными растворами бихромата или с концентрированным отбеливателем (рис. 83, 84).

Рассмотрим теперь, как отзывается на градации Карбро изменение в скорости отбеливания различных частей бро-

мистого впечатления. Как мы уже знаем, в ярких светах ферроцианид образуется скорее и потому глубже проникает в слой. В результате этого света передадутся слишком темными и характеристическая кривая Карбро-процесса примет вид, указанный на рис. 85-а (линия а вместо линии б).

Так как небольшое количество ферроцианида, выделяющееся в светлых местах, распределяется по большой, сравнительно, толще желатинового слоя, то концентрация дубящих продуктов реакции с бихроматом оказывается весьма малой. Это приводит к тому, что слой в этих местах задубливается мало, и яркие света легко смываются при проявлении. В результате характеристическая кривая принимает вид, указанный на рис. 85-б (кривая с).

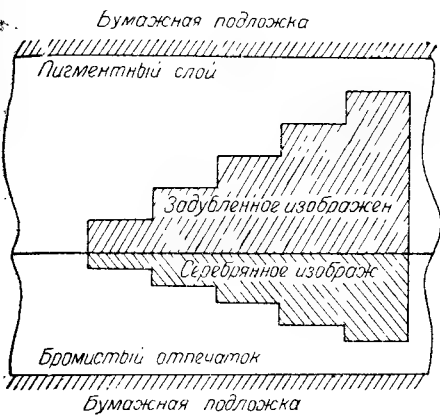


Рис. 84. Схема действия слабого раствора бихромата в способе Карбро

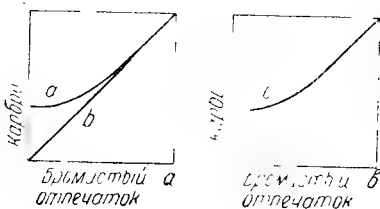


Рис. 85. Характеристические кривые Карбро-процесса при однованном способе

Такое искажение передачи светлых тонов крайне нежелательно, так как приводит к исчезновению деталей в светах, что чрезвычайно ухудшает качество цветного отпечатка.

Зная причину этих искажений, мы сможем найти и способы их устранения. В данном случае нам нужно замедлить скорость отбеливания светов и одновременно увеличить скорость окисления малых количеств ферроцианида. Это может быть достигнуто применением двух очувствляющих ванн.

Первая ванна содержит только отбеливающие вещества: красную кровяную соль (феррицианид) и бромистый калий. Пигментный лист, поглотивший эти вещества при купании в первой ванне, переносится на короткое время во вторую ванну, содержащую бихромат, хромовую кислоту и хромовые квасцы.

Во второй ванне феррицианид и бромид, находящиеся в пигментном слое, диффундируют наружу, и таким образом происходит разбавление отбеливателя в толще слоя.

Однако этот эффект разбавления совершается не в одинаковой степени по всей толщине слоя. Во время короткого погружения во вторую ванну феррицианид и бромид разбавляются с поверхности слоя в гораздо большей степени, чем в глубине, откуда они не успевают еще диффундировать. В результате этого отбеливание бромистого отпечатка замедляется и притом в светах сильнее, чем в тенях. Это происходит потому, что света отбеливаются более разбавленным феррицианидом, находящимся на поверхности пигментного слоя, в то время как тени, которые отбеливаются медленнее, реагируют с избытком феррицианида, который успевает продиффундировать из глубины слоя.

Этот эффект еще усугубляется тем обстоятельством, что вследствие короткого времени пребывания во второй ванне бихромат и хромовая кислота не успевают продиффундировать далеко вглубь слоя, и в наружных его частях создается таким образом повышенная концентрация бихромата. В силу этого скорость окисления ферроцианида в поверхностных частях слоя увеличивается, что в сочетании с уже разобранным выше уменьшением скоростей образования приводит к более нормальным условиям образования пигментного изображения в светах и, следовательно, к улучшенной передаче.

Применяя вторую ванну, разбавляющую феррицианид и бромид, необходимо увеличить их концентрацию в первой ванне, чтобы обеспечить полное отбеливание. Было найдено, что концентрация в 2% каждого из этих реагентов оказывается вполне подходящей.

Изменение соотношения между отбеливающими реагентами и бихроматом приводит к изменению общего контраста Карбро-изображения. До известной степени тех же результатов можно достичь изменением времени пребывания во второй ванне. С увеличением этого времени контраст изображения уменьшается вследствие увеличения количества бихромата в слое и уменьшения концентрации отбеливателя. Одновременно с этим уменьшается и общая сила изображения.

При более долгом погружении передача светов начинает ухудшаться вследствие того, что феррицианид и бромид внутри слоя успевают диффундировать наружу, и концентрация во всей толщине слоя таким образом уравнивается. Аналогичным же образом выравнивается и концентрация бихромата. Передача теней также страдает, и изображения делаются менее контрастными.

При уменьшении продолжительности второй ванны наступает увеличение общего контраста и усиление изображения. И в этом случае при слишком коротком времени

погружения в ванну передача светов сильно страдает и они легко смываются совсем (рис. 86).

Практически время второй ванны может без существенного нарушения передачи светов изменяться в пределах от 15 до 35 сек. Вероятно, лучше добиваться изменения общего контраста и силы отпечатка, варьируя концентрацию растворов, но на практике несравненно удобнее достигать этого, изменяя продолжительность второй ванны.

Некоторое увеличение контраста в ярких светах, которое может наблюдаться при нормальных продолжительностях второй ванны, представляет даже некоторое преимущество, так как эти тона находятся в области недодержек бромистой бумаги. Самые яркие света негатива получаются поэтому на бромистом позитиве слишком вялыми и Карбро-изображения такого характера, о котором мы только что говорили, придают им более блеска и позволяют выявить детали, которые кажутся совсем потерянными на бромистом отпечатке.

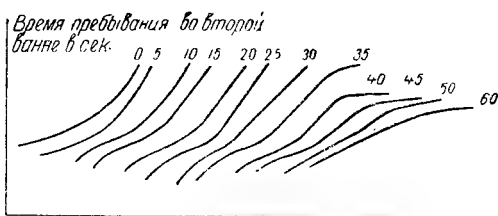


Рис. 86. Характеристические кривые при двухванном способе

4. РОЛЬ ХРОМОВОЙ КИСЛОТЫ И ДОПОЛНИТЕЛЬНОГО ДУБИТЕЛЯ В КАРБРО-ПРОЦЕССЕ

Хромовая кислота является гораздо более сильным окислителем, чем бихромат, и потому скорость, с которой она окисляет бихромат, гораздо выше. Применение одной хромовой кислоты привело бы к получению слишком слабых и вялых изображений. Передача светов при этом была бы довольно хорошей вследствие того, что повышенная скорость окисления ферроцианида хромовой кислотой компенсирует слишком быстрый ход отбеливания (рис. 87).

Применение одного бихромата, довольно удовлетворительно передающего тени, дает почти совершенно смытые яркие света (рис. 88). Надлежащим сочетанием обоих этих веществ можно значительно улучшить передачу, хотя достаточно хороших результатов можно добиться только с применением второй ванны.

Нет никакого сомнения, что кислотность очувствляющих ванн играет весьма существенную роль во всех сложных процессах, которые происходят в слое. В особенности это относится к самой реакции дубления желатины. Поэтому

роль хромовой кислоты состоит также и в установлении определенного рН среды. Поскольку смеси бихромата с хромовой кислотой являются плохими буферами, применение смеси соляной и уксусной кислот, рекомендуемое в более ранних рецептах, представляется не лишенным рационального основания. К сожалению, исследования в этом направлении отсутствуют.

При вышеприведенном рассмотрении диффузии образовавшегося ферроцианида в слой мы пренебрегали пере-

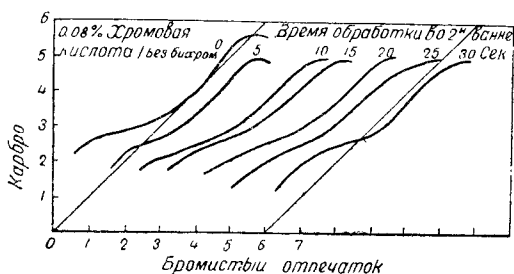


Рис. 87. Характеристические кривые при отсутствии бихромата

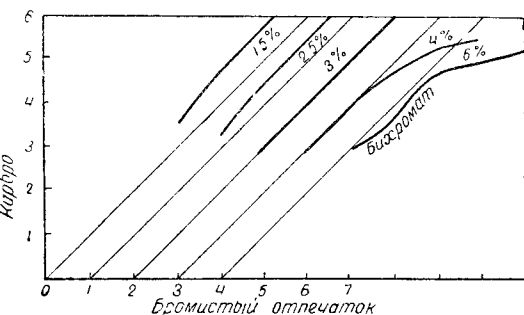


Рис. 88. Характеристические кривые при отсутствии хромовой кислоты

движением бихромата и хромовой кислоты. На самом деле эти вещества также диффундируют по всем направлениям, как и ферроцианид.

При получении Карбро-изображения нас интересует не только получение слоя задубленной желатины, толщина которого была бы в точности пропорциональна количеству серебра бромистого отпечатка, но и резкое отграничение этого слоя от незадубленной желатины. Необходимо, чтобы дубление желатины происходило полностью и не было постепенного перехода в незадубленную желатину.

Хотя это позволило бы, изменяя температуру проявления, регулировать в известных пределах толщину изображения, но все же было бы сопряжено с риском потерять тонкие детали в светах.

Распространение ферроцианида в слое заканчивается, когда скорость его диффузии станет равной скорости окисления. Если в слое находится избыток окислителя (хромовой кислоты и бихромата), то задубленное изображение обрывается сразу, образуя резкую границу между задубленной и незадубленной желатиной. Если же ферроцианид находится в избытке по отношению к окислителю, то задубленное изображение постепенно переходит в мягкую желатину.

В этом и заключается основание для применения квасцов. Неполное задубливание имеет место в ярких светах вследствие слишком быстрого движения ферроцианида, и в глубоких тенях, где количество окислителя мало по сравнению с ферроцианидом. В тех частях, где желатина неполностью продубилась, она делается нерастворимой с помощью квасцов. В средних тонах резкая линия раздела между задубленной и незадубленной желатиной имеется уже налицо и добавочное слабое дубление, вызванное квасцами, ничего не меняет.

Несмотря на это приходится считаться, что в глубоких тенях и ярких светах изображение состоит частью из неполностью задубленной желатины с более низкой точкой плавления. Разницу в структуре изображения в глубоких тенях и в остальных тонах можно наблюдать при проявлении отпечатка с такими глубокими тенями. Большая часть отпечатка отмывается быстро и легко, но тени проявляются гораздо медленней и показывают тенденцию к „стеканию“, если отпечаток вынули рано из воды.

5. ТРЕБОВАНИЯ К ЦВЕТОДЕЛЕННЫМ ПОЗИТИВАМ

Исходным материалом для цветного позитивного процесса по способу Карбро являются позитивные фотографические отпечатки с цветоделенных негативов (цветоделенные позитивы), получаемые в результате контактной или проекционной печати.

Металлическое серебро этих отпечатков образует в результате описанных выше реакций рельефное цветное изображение. В силу этого изготовление цветоделенных позитивов является существеннейшей частью процесса, от правильного проведения которой зависит успех всей работы.

Следует учитывать, что бромистый отпечаток является непосредственным источником для получения цветного изображения и исправление его недостатков в процессе самой цветной печати весьма затруднительно. С другой стороны, в процессе бромистой печати мы имеем некоторую дополнительную возможность для выправления недочетов негативов.

Учитывая важность бромистого позитивного процесса не только для способа Карбро, но и для всех тех методов цветной фотографии, в которых исходят не непосредственно от негатива, а от промежуточного позитива, является уместным вкратце напомнить здесь некоторые основные принципы, относящиеся к печати на фотобумаге. При этом необходимо отметить одно существенное различие между свойствами и характеристиками бромистого отпечатка, предназначенного для монохромной фотографии, и для отпечатка, служащего материалом для цветной печати.

В первом случае черно-белый фотографический отпечаток является конечным результатом фотографического процесса и должен правильно передавать для нашего глаза соотношения яркостей снимаемого объекта. Напротив, бромистый отпечаток с цветоделенного негатива предназначен не для рассматривания, а служит лишь вспомогательным средством для получения цветного изображения. Поэтому к такому отпечатку предъявляются иные требования, чем к черно-белому фотографическому изображению.

Эти требования могут в той или иной степени меняться в зависимости от характера применяемого цветного позитивного процесса, но, в общем, могут быть сведены к необходимости пропорциональной передачи плотностей цветоделенного негатива.

Строго говоря, мы можем добиться этого лишь в том случае, если используем только прямолинейную часть характеристической кривой нашего позитивного материала. Так как эта область характеристики у позитивных слоев вообще невелика и меньше, чем для негативных, то нам приходится ограничиваться таким интервалом плотностей негатива, который смог бы уместиться в области пропорциональной передачи позитива.

В черно-белой фотографии мы можем использовать более широкий интервал позитива в силу некоторых особенностей нашего зрительного восприятия черно-белых изображений.

Эти соображения не применимы к случаю цветных изображений для цветного процесса, и поэтому сенситометрические величины, характеризующие свойства монохромного отпечатка, как: передача деталей, градация, используемый интервал, столь детально разработанные в работах Гольдберга и Джонса, лишь с большой осторожностью могут быть перенесены на интересующий нас случай.

Вопросы сенситометрии черно-белого позитива для цветной фотографии еще совсем не разработаны.

Можно полагать, однако, что ввиду особенно большого значения, которое имеет для наших целей пропорциональность передачи позитивного материала, его сенситометрическая характеристика должна быть ближе связана с сенситометрией негатива, чем это имеет место для фотобумаг. В частности, например, величины коэффициента контрастности и широты бумаги будут иметь для наших целей большее значение, чем полный контраст (по Джонсу), градация бумаги, приспособляемость и другие величины, характеризующие визуальные свойства бромистого отпечатка.

Задача получения хорошей серии бромистых отпечатков сводится к получению трех правильно экспонированных позитивов, на которых контрольные шкалы должны иметь

надлежащие плотности и контраст. Для этого следует подбирать бумагу, отвечающую определенным требованиям как в отношении своих фотографических свойств, так и механических качеств, учитывая ее последующую обработку. Бромистую бумагу лучше выбирать матовую или полуматовую нормального или контрастного сорта. Бумага не должна иметь защитного слоя, которым снабжены почти все заграничные бумаги. Эмульсия не должна быть излишне задубленной и не должна пузыриться даже при повторных отбеливании и проявлении. Очень важно равномерное нанесение эмульсии (ровный полив) и совершенное отсутствие вуали и точек, в особенности, белых.

Со стороны фотографических свойств от бумаги требуется, чтобы она была „сочной“, с хорошей градацией и глубокими тенями. Необходимо также, чтобы эмульсионный слой был богат серебром.

Бумажная подложка должна быть плотной и обладать хорошей механической прочностью в мокром состоянии. Слишком большая промокаемость нежелательна.

Особенное внимание следует обратить на то, чтобы бумажная подложка не деформировалась при размачивании и высушивании. В противном случае трудно добиться хорошего совпадения изображений.

Растяжение бумаги всегда больше в направлении ширины рулона, из которого вырезаны листы, чем по его длине. Поэтому если резка бумаги велась в разных направлениях, то получить хорошее совпадение изображений будет невозможно. По этой причине предпочтительнее приобретать бромистую бумагу в рулонах и отрезать ее всегда в одном и том же направлении.

6. ПРОЕКЦИОННАЯ ПЕЧАТЬ

Конструкция увеличителя, применяемого для изготовления бромистых отпечатков, должна обеспечивать совершенно ровное освещение бумаги.

Удобнее всегда применять увеличители конденсорного типа, в которых можно, изменяя степень диффузности света (направленный свет, матовое стекло, молочное стекло и т. п.), варьировать контраст отпечатков в зависимости от характера негатива.

Весьма желательно (а для производственных лабораторий даже обязательно) иметь контроль тока, питающего лампу увеличителя с помощью реостата и амперметра. Неизбежные колебания напряжения в сети могут повлечь за собой весьма значительные изменения силы света лампы и получение строго одинаковых отпечатков будет крайне затруднено.

Все три увеличения должны быть строго одинаковой величины. Поэтому очень важно, чтобы рамка, в которую вставляются негативы, обеспечивала прочное положение всех трех негативов в одном и том же месте светового пучка.

При последовательной цветоделенной съемке негативы помещаются в увеличитель, как обычно, эмульсией к объективу. Однако при употреблении цветоделящих камер два негатива получают в результате отражения от полупрозрачных зеркал и в силу этого являются зеркально обращенными по сравнению с обычным негативом. В зависимости от конструкции камер такое обращение может иметь место для негативов, снятых с различными фильтрами. Так например, для камеры Вивекс „синий“ и „зеленый“ негативы зеркально обращены, а „красный“ — прямой. Напротив, в камере Бермполь „зеленый“ негатив — прямой, а „синий“ и „красный“ — обращены. В случае таких негативов приходится эти два обращенных негатива закладывать в увеличитель эмульсией кверху. Для компенсации разницы в положении эмульсионного слоя под необращенный негатив подкладывается чистая стеклянная пластинка той же толщины, что и негатив.

Подкладывание такого стекла необходимо еще и потому, что нужно уравнивать не только геометрический путь лучей, идущих через обращенные и нормальные негативы, но и сделать одинаковой оптическую длину пути. При обращенных негативах, лежащих слоем вверх, свет после прохождения через эмульсионный слой проходит еще через стекло пластинки, поэтому прямой негатив, обращенный эмульсией к объективу, должен быть поставлен в те же условия, т. е. под него должно быть положено стекло. Лучшее всего для этого применять старый негатив от того же сорта пластинок, с которого смыта эмульсия. Следует, конечно, проверить его толщину.

При печати необходимо при помощи маски оставить со всех сторон позитивного изображения белые поля шириной не менее 5—7 мм. Значение этих защитных полей будет объяснено далее.

7. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПЕЧАТНЫХ КОЭФИЦИЕНТОВ ПРИ ПРОЕКЦИОННОЙ ПЕЧАТИ

Правильная передача серой шкалы для бромистых отпечатков более необходима, чем для негативов, для которых не слишком большие отклонения в правильности передачи серой шкалы могут быть исправлены при бромистой печати.

При определении времени выдержки при печати следует иметь в виду три возможных случая:

Серые шкалы всех трех цветоделенных негативов совершенно одинаковы как по плотности, так и по контрасту.

Серые шкалы одинаковы по контрасту, но различны по плотности.

Серые шкалы различны по контрасту.

Первый случай, очевидно, является самым легким и определение выдержки сводится к определению ее лишь для одного из негативов, так как одинаковая выдержка для всех трех негативов автоматически обеспечит нам требуемое равенство всех трех серых шкал.

Однако такие идеальные негативы остаются, обычно, только идеалом и, как правило, плотности серых шкал несколько расходятся.

Если это расхождение не слишком велико, то, при условии одинаковости контраста, т. е. при правильно проявленных негативах, необходимо будет несколько изменить выдержку при печати с тем, чтобы добиться нужного баланса.

В основном задача сводится к определению печатных коэффициентов, т. е. поправочных величин, на которые следует помножить время выдержки, найденное для одного из негативов, чтобы получить требуемые выдержки для двух остальных.

Поскольку необходимо обеспечить идентичность серых шкал с гораздо более высокой точностью, чем это может быть выполнено при непосредственном сравнении на-глаз, возникает потребность в измерении плотностей с помощью соответствующих приборов.

Если плотности серых шкал на цветоделенных негативах измерены так, как это было описано в главе V, то задача определения выдержки при печати значительно упрощается.

Пусть, например, плотности, скажем, среднего поля шкалы на трех негативах будут D_1 , D_2 и D_3 причем $D_1 > D_2 > D_3$. Если обозначить интенсивности света, прошедшего через это поле на негативе, через I , то $D = \log \frac{1}{I}$. Отсюда следует, что

$$\log \frac{I_3}{I_2} = D_2 - D_3 \text{ и } \log \frac{I_3}{I_1} = D_1 - D_3$$

В сравнительно узких пределах интенсивностей, с которыми нам приходится иметь дело в подобных случаях, можно считать, что время выдержки, необходимое для получения одинаковой плотности, будет обратно пропорционально интенсивности света. Поэтому

$$\log \frac{t_1}{t_3} = D_1 - D_3 \text{ и } \log \frac{t_2}{t_3} = D_2 - D_3$$

Приняв продолжительность выдержки для самого слабого негатива за единицу (т. е. положив $t_3 = 1$), получим

$$\log t'_1 = D_1 - D_3 \text{ и } \log t'_2 = D_2 - D_3$$

где t'_1 и t'_2 являются факторами, показывающими, во сколько раз нужно увеличить выдержку при печати с I и II негативов, чтобы получить одинаковые серые шкалы на всех позитивах (печатные коэффициенты).

Такого рода уравнивание плотностей шкалы с помощью изменения выдержки допустимо лишь при том условии, что все плотности негатива остаются в пределах прямолинейного участка фотобумаги. В противном случае будет нарушена пропорциональность передачи и, как следствие этого, цветовой баланс.

Поэтому нужно стараться обеспечить возможно более близкое равенство шкал на самих негативах с тем, чтобы при печати корректировать лишь небольшие отклонения.

Требование одинаковой плотности серой шкалы на всех трех позитивах справедливо только в том случае, если три сорта пигмента между собой так согласованы, что действительно для получения серого цвета требуются в точности одинаковые количества всех трех цветов.

Хотя при производстве пигментной бумаги и стремятся к этому, но тем не менее полностью достичь этого невозможно. В таком случае, очевидно, что для получения серого цвета плотности шкалы на отпечатках должны быть неодинаковы, а, следовательно, и выдержки даже при идеальных негативах должны быть различны.

Установление печатных коэффициентов в этом случае можно произвести только путем подбора. Эту операцию проще всего выполнить следующим образом. Приготавливают ступенчатую шкалу подходящих размеров, засвечивая лист бромистой бумаги полосами так, чтобы каждая следующая полоса получала выдержку, скажем, на 5—10% больше, чем предыдущая.

После проявления и фиксирования такая ступенчатая шкала разрезается на три полоски, каждая из которых переводится обычным путем в цветное пигментное изображение на целлулоиде.

Полученные таким образом три цветные ступенчатые шкалы накладывают друг на друга и передвигают по длине до тех пор, пока хотя бы часть полей не будет казаться серой.

Пусть, например, для этого понадобилось сложить шкалы таким образом, чтобы на первое (самое светлое) поле синей шкалы пришлось второе поле красной и третьей поле желтой шкалы. Тогда, имея в виду, что каждое поле соответствует увеличению выдержки на 5%, видим, что по-

зитив, предназначенный для красного цвета (красный позитив), т. е. напечатанный с синего негатива, должен быть экспонирован на 5% дольше, чем синий позитив (с красного негатива) даже в том случае, если плотности серых шкал на этих негативах совпадают. Аналогично желтый позитив должен будет получить 10% добавочной экспозиции.

Конечно, если неодинаковые плотности серых шкал на негативах требуют неравного времени выдержки, то указанные накладки должны делаться с расчетом на ту выдержку, которая необходима для получения серых шкал с одинаковой плотностью.

Такие определения непременно должны повторяться не только для каждой новой партии пигментной бумаги, но и в случае смены бромистой.

8. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЫДЕРЖКИ ПРИ ПЕЧАТИ

Определение выдержки не ограничивается установлением печатных коэффициентов, необходимым для уравнивания серой шкалы. Нужно еще установить для одного из негативов правильное время выдержки с тем, чтобы, используя полученные на основании расчета и измерений проб относительные выдержки, приступить к печати.

Это выполняется путем пробных экспонирований на полосках бумаги. В пробу обязательно нужно включать наряду с контрольной шкалой также и самые светлые места объекта. Лучше всего подбирать экспозицию по зеленому негативу.

Правильно отпечатанный позитив для Карбро-процесса по своим качествам принципиально не отличается от хорошего отпечатка, сделанного для монохромной фотографии. Экспозиция должна быть как раз достаточна для того, чтобы вызвать детали в самых ярких светах, причем тени не должны быть перепечатаны.

Однако общая сила отпечатка может быть различной для различных сортов бромистой бумаги.

Это обстоятельство не является очевидным и требует некоторого пояснения.

Плотность цветного пигментного изображения определяется при прочих равных условиях количеством металлического серебра, вступившего в реакцию. Для фотографических бумаг в силу особых условий, на которых нет возможности здесь останавливаться, не соблюдается прямой пропорциональности между оптической плотностью и количеством серебра, как это имеет место для негатива.

Поэтому возможно, что два отпечатка, сделанные на разных сортах бумаги, при одинаковой оптической плотности в данном месте будут содержать неодинаковые ко-

личества серебра. Поскольку эффект Карбро-реакции — толщина задубленного пигментного слоя — зависит именно от количества серебра, эти два отпечатка могут дать пигментные изображения разной плотности.

Поэтому для каждой новой партии бромистой бумаги нужно определять наиболее подходящую для нее силу отпечатка и в дальнейшем ее, по возможности, придерживаться.

Само собою разумеется, что требуемая сила бромистого отпечатка должна быть также согласована с применяемой пигментной бумагой. Пигментные бумаги с меньшим содержанием пигмента требуют более плотных и контрастных отпечатков, чем бумаги, богатые красителем.

9. КОНТРОЛЬ ОТПЕЧАТКОВ

Найденное таким путем время выдержки должно быть проверено, для чего делают пробы при выбранном масштабе увеличения, проявляют их вместе и измеряют плотности серой шкалы.

Измерения плотностей удобно производить объективным фотоэлектрическим денситометром.

В научно-исследовательской лаборатории ГУФП С. Ф. Родионовым совместно с автором был сконструирован спе-

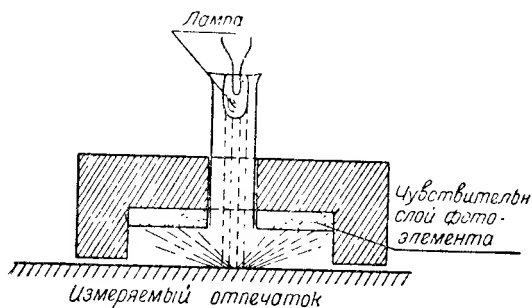


Рис. 89. Схема фотоэлектрического денситометра для измерения бромистых отпечатков

циально для относительных измерений бромистых отпечатков очень простой и удобный фотоэлектрический денситометр.

Прибор, схема которого изображена на рис 89, состоит из селенового вентильного фотоэлемента ФАИ, в середине которого находится сквозное круглое отверстие диамет-

ром 5—6 мм. В отверстие вставлен небольшой тубус, в котором находится лампочка от карманного фонаря, питаемая от звонкового трансформатора или лучше от 4-вольтового аккумулятора через реостат.

Свет от лампочки, проходя через отверстие в фотоэлементе, попадает на измеряемый фотографический слой отпечатка и, отразившись от него во всех направлениях, падает на чувствительную поверхность фотоэлемента. Возникающий при этом фототок измеряется стрелочным или зеркальным гальванометром, как это было описано выше. При-

бор очень портативен и удобен в пользовании. Общий вид прибора показан на рис. 90.

В силу того, что он измеряет свет, отраженный от бумаги во всех направлениях, а не под углом 45° , как это принято при определении оптических плотностей бумаг, показания прибора не соответствуют истинным значениям оптических плотностей отпечатка, но для требующихся в наших условиях относительных измерений прибор выполняет свое назначение.

Работа с прибором заключается в том, что сперва помещают его на незасвеченный участок бумаги и, регулируя

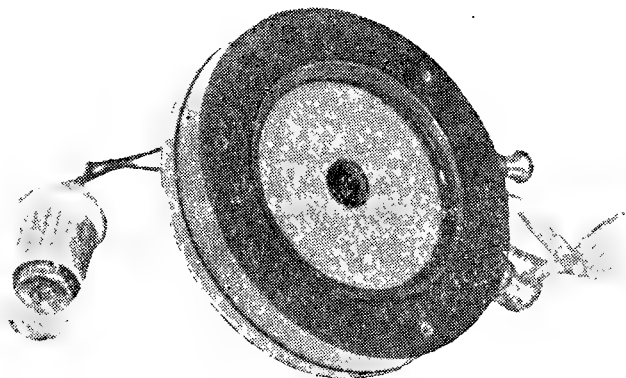


Рис. 90. Внешний вид денситометра для измерения бромистых отпечатков

с помощью реостата силу тока, питающего лампу, добиваются, чтобы стрелка гальванометра показывала цифру 100. Затем, не меняя положения реостата, помещают прибор на измеряемое место и делают отсчет по прибору. Логарифмы этих величин пропорциональны плотностям отпечатка.

Если негативы обладают разным контрастом, возможности исправления этого недостатка при печати весьма ограничены. Изменение сорта бумаги в этом случае невозможно как по причине неодинаковой деформации различных партий бумаги (хотя бы и на одинаковой подложке), так и в силу упомянутого уже изменения соотношений между оптической плотностью и количеством серебра.

Некоторого выравнивания можно достигнуть при проявлении отпечатков.

Применение масок является весьма ценным средством цветной коррекции и совершенно необходимо, если желают получить по возможности точное воспроизведение цвета (см. гл. III, § 19). Цветоделенные негативы в этом случае должны быть проявлены до большего контраста.

Проявление отпечатков должно вестись с наименьшей тщательностью, чем цветоделенных негативов. Можно сказать, что в этом случае мы имеем дело с еще более трудными условиями для обеспечения равномерности проявления как в силу большего размера отпечатков, так и из-за значительной быстроты проявления бумаг.

Если негативы одинакового контраста, то проявление всех отпечатков следует вести в одном и том же проявителе.

Выбор проявителя не связан с какими-нибудь специальными требованиями, отличными от таковых в монохромной фотографии.

Небольшие отклонения от равенства контраста можно исправить, проявляя более мягкие отпечатки в более контрастном проявителе и наоборот.

Выдержку при печати следует подбирать таким

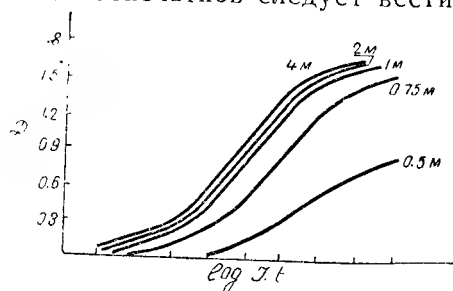


Рис. 91. Характеристические кривые бромистой бумаги при разном времени проявления

образом, чтобы обеспечить получение требуемого позитива при постоянном времени проявления — обычно 1,5—2 мин.

Не следует пытаться вводить исправления в позитив путем изменения времени проявления. Как видно из рис. 91, представляющего семейство характеристических кривых бромистой бумаги для разного времени проявления, крутизна кривой в начале проявления очень быстро меняется, но уже через минуту после начала контраст и максимальная плотность практически не меняются. Поэтому вариации во времени проявления для бумаг практически бесполезны, а недопроявка просто вредна, так как не дает возможности получить устойчивые результаты.

Следует применять все меры предосторожности для обеспечения полной равномерности проявления всех трех отпечатков и избегать истощения проявителя.

По окончании проявления отпечатки переносятся без ополаскивания в стоп-ванну из 2%-ной уксусной кислоты (часто сменить) и оттуда в фиксаж.

Фиксирование должно проводиться в кислом, но не дубящем (без квасцов) фиксаже. Фиксирование должно быть основательным, лучше всего в двух ваннах и в неистощенном растворе.

Отфиксированные отпечатки подвергаются тщательной промывке до полного удаления всех следов гипосуль-

фита. Малейшие следы гипосульфита, оставшиеся в отпечатках, вызовут в дальнейшем цветную вуаль, которая совершенно испортит изображение. Поэтому после окончания промывки необходимо проверить на полноту отмывки от гипосульфита, например с помощью раствора перманганата.

Перед изготовлением Карбро бромистые отпечатки погружаются на 2—3 минуты в ванну состава:

Уксусной кислоты (уксусной эссенции) 70%-ной	6 см ³
Воды	до 200 "

Это можно делать до сушки, но лучше делать это после и во всяком случае, избрав тот или иной способ, всегда его придерживаться.

Целью этой операции является удаление извести, оседающей на отпечатках при промывке в жесткой воде. Сухие отпечатки должны размачиваться предварительно в воде по крайней мере в течение 10—15 мин. После уксуснокислой ванны отпечатки промываются в текучей воде в течение 10 мин. За это время готовят растворы для очувствления пигментной бумаги.

11. ОЧУВСТВЛЯЮЩИЕ РАСТВОРЫ

Предложенные различными авторами рецепты очувствляющих растворов могут быть разделены на две группы.

К первой группе относятся те рецепты, в которых все очувствляющие вещества находятся вместе в одном растворе. Рецепты второй группы предусматривают две очувствляющие ванны.

Мы уже обсуждали выше при рассмотрении механизма Карбро-процесса те причины, которые диктуют необходимость пользоваться двумя ваннами. Однако применение двух последовательных обработок пигмента влечет за собой известные неудобства как в смысле усложнения самой процедуры, так и в отношении увеличения возможности ошибок и отклонения от абсолютно одинаковых условий обработки для всех пигментных листов.

Поэтому многие работки применяют одну очувствляющую ванну.

Наиболее часто применяемые рецепты одной ванны следующие:

А. Очувствляющий раствор по Ньюенсу (Newens)

Запасный раствор № 1

Красной кровяной соли	50 г
Бромистого калия	50 "
Двуххромовокислого калия	50 "
Дистиллированной воды	до 1 л

Запасный раствор № 2

Ледяной уксусной кислоты	42,0 см ³
Соляной кислоты	42,0 "
Формалина 40%-ного	420,0 "
Воды	до 1 л

Рабочий раствор составляется таким образом:

Запасного раствора № 1	60 см ³
Запасного раствора № 2	7,5 "
Воды	до 500 "

Изменением пропорции запасных растворов или изменением продолжительности очувствления можно добиться вариаций в контрасте. Так, увеличение количества раствора № 2 понижает контраст. В таком же направлении действует и удлинение времени очувствления. Напротив, уменьшение количества раствора № 2 или сокращение времени очувствления влечет за собой повышение контраста.

Роль соляной кислоты в этом рецепте состоит только в освобождении хромовой кислоты из бихромата. Добавление уксусной кислоты служит для поддержания некоторого более или менее постоянного значения pH, необходимого для процесса.

Б. Очувствляющий раствор по Автотипной компании (старый рецепт)

Запасный раствор № 1

Бромистого калия	50 г
Красной кровяной соли	50 "
Двуххромовокислого калия	50 "
Воды	до 1 л

Запасный раствор № 2

Хромовой кислоты	17,50 г
Хромовых квасцов	35,00 "
Воды	до 1 л

Рабочая ванна составляется из запасных растворов следующим образом.

Запасного раствора № 1	100 см ³
Запасного раствора № 2	100 "
Воды	до 500 "

В последнее время был предложен другой рецепт ванны с применением более сильно дубящего двуххромовокислого аммония:

Двуххромовокислого аммония	3 г
Бромистого калия	10 "
Красной кровяной соли	10 "
Хромовой кислоты	от 0,9 до 1,2 "
Формалина 40%-ного	1 см ³
Воды	до 1 л

Из рецептов двух очувствляющих ванн наибольшим распространением пользуется рецепт, рекомендуемый Автотипной компанией (стандартный рецепт):

Запасный раствор А

Красной кровяной соли	50 г
Бромистого калия	50 "
Дистиллированной воды	до 500 см ³

Запасный раствор Б

Двуххромовокислого калия	20 г
Хромовой кислоты	4,5 "
Хромовых квасцов	11 "
Дистиллированной воды	до 400 см ³

При составлении раствора Б не следует доводить температуру выше 38° во избежание порчи раствора.

Рабочие ванны составляются из этих запасных растворов следующим образом:

Ванна № 1

Запасного раствора А	1 часть
Дистиллированной воды	4 части

Ванна № 2

Запасного раствора Б	1 часть
Дистиллированной воды	4 части

Лайтон рекомендует следующий рецепт:

Ванна № 1

Хромовой кислоты	0,4 г
Двуххромовокислого калия	1,6 "
Красной кровяной соли	2,0 "
Бромистого калия	2,0 "
Воды	до 1 л

Ванна № 2

Хромовой кислоты	0,4 г
Двуххромовокислого калия	1,6 "
Воды	до 1 л

Несколько лучших результатов (в смысле более сильного дубления) можно достичь, заменяя в приведенных рецептах двуххромовокислый калий на двуххромовокислой аммоний из расчета 0,865 частей двуххромовокислого аммония на 1 г двуххромовокислого калия. Следует только иметь в виду большую светочувствительность очувствленного таким образом пигмента.

Хотя в нашем распоряжении не имеется достаточных материалов по сравнению достоинств различных рецептов, с достаточным правом можно высказать по этому поводу следующие соображения.

По обнованному способу легче получить воспроизводимые результаты, и сама работа значительно упрощается. Однако передача тонких деталей в светах должна несколько страдать. Смешанный раствор работает очень быстро и требует большого внимания при операции притирания очувствленного пигментного листа к бромистому отпечатку.

Мы опишем в основном работу по двуванному способу со стандартным рецептом, ограничившись лишь указаниями в соответствующих местах на требуемые изменения в случае применения одного раствора.

12. ОЧУВСТВЛЕНИЕ ПИГМЕНТА

Для этого процесса нужны следующие предметы и материалы:

3 бромистых отпечатка с трех цветоделенных негативов;

3 листа толстого целлулоида (около $1\frac{1}{2}$ мм толщины) по крайней мере на 5 см с каждой стороны больших, чем отпечатки;

3 пигментных листа (синий, красный и желтый) на 3 см больших, чем отпечатки;

1 кусок растворимой временной подложки того же размера, что и пигментный лист;

1 кусок постоянной подложки той же величины;

4 куса стекла той же величины, что и целлулоид;

1 резиновая линейка (притиралка);

3 фарфоровые кюветы по размеру пигментного листа;

1 большая кювета на 5 см больше, чем целлулоид;

1 ролик;

несколько листов газетной бумаги;

вата, чистая мягкая тряпка, бензин, термометр, часы с секундной стрелкой и тряпка для вытирания притиралки.

Для работы по способу Карбро требуется чистое сухое помещение с постоянной температурой $16-18^{\circ}$ и влажностью около 50%. Все фотографические операции, связанные с применением гипосульфита и подобных веществ, должны обязательно проводиться в отдельной комнате.

Пыль, в особенности содержащая частицы химикалий, очень вредна для работы. Поэтому помещение должно быть совершенно свободно от пыли. Лучшее всего это достигается с помощью приточно-вытяжной вентиляции с фильтрацией воздуха.

Следует избегать проливания очувствленных растворов, содержащих хромовые соли, так как образующаяся при их высыхании пыль очень вредна для организма (хромовое от-

равление). Поэтому все операции, связанные с этими растворами (очувствление, притирание к бромистому отпечатку), должны обязательно проводиться на моечных столах, снабженных решетками.

В образцово организованных лабораториях цветной печати пользуются только кондиционированным воздухом с автоматическим поддержанием требуемой температуры и влажности и с полным устранением пыли. Это, несомненно, является лучшим разрешением вопроса.

Все операции могут производиться при обычном дневном свете. Следует только избегать прямого солнечного света.

Совершенно необходимо для устранения царапин и всякого рода повреждений нежного пигментного слоя пользоваться для промывок и других подобных операций только фильтрованной водопроводной водой.

Запасные очувствляющие растворы лучше употреблять не тотчас же после приготовления, а после стояния в течение нескольких дней или даже больше. Смысл такого „выстаивания“ растворов, повидимому, заключается в том, что при этом происходит окисление восстанавливающих примесей, имеющих в воде и химикалиях (органическая пыль и т. п.), и растворы приобретают более определенный состав.

Для очувствления берут столько рабочего раствора, чтобы лист пигмента мог быть хорошо покрытым. Для отпечатков размером $18 \times 24 \text{ см}^2$ берут по 300 см^3 первой и второй ванны. Ванну № 1 можно употреблять несколько раз, и она сохраняется до 2 недель. Ванна № 2 готовится заново для каждой серии из 3 отпечатков и применяется только свежей.

Очувствляющие растворы должны быть налиты в чистые фарфоровые или стеклянные кюветы, которые должны применяться только для этих целей. Следует применять кюветы несколько большего размера, чем пигментный лист, чтобы дать ему возможность свободно расширяться при набухании в растворе.

Температура растворов должна поддерживаться возможно точнее при $17-18^\circ$. Для составления растворов следует применять только дистиллированную воду.

Когда все готово, замечают время и опускают синий пигментный лист слоем кверху в ванну № 1, удаляют пальцем пузырьки воздуха, приставшие к поверхности, переворачивают затем слоем вниз и осторожно качают кювету для равномерного впитывания раствора в слой.

Через 2 мин. (в жаркую погоду можно уменьшить это время до $1\frac{1}{2}$ мин. или увеличить в холодную до 3 мин.), вынимают синий лист, кладут слоем вверх на стекло и удаляют с него избыток раствора одним легким движением

притиралки. Стекло с лежащим на нем пигментом оставляют на одну минуту и за это время готовят соответствующий бромистый отпечаток.

Бромистые отпечатки размачиваются до этого в течение 10 мин. в воде слоем вверх в таком порядке: „синий“, „красный“ и „желтый“.

„Синий“ отпечаток вынимают из воды так, чтобы на нем оставалась тонкая, но равномерная пленка воды, и кладут слоем вверх на чистое стекло. Очень важно, чтобы вода равномерно смачивала всю поверхность отпечатка, в противном случае легко могут получиться цветные пятна из-за неравномерного разбавления реактивов.

Для более квалифицированных работников можно рекомендовать отжимать отпечаток, положенный на стекло,

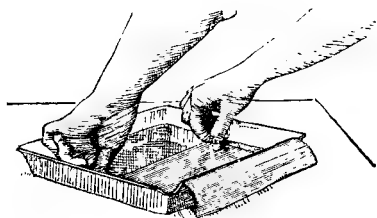


Рис. 92. Погружение пигмента в чувствительную ванну

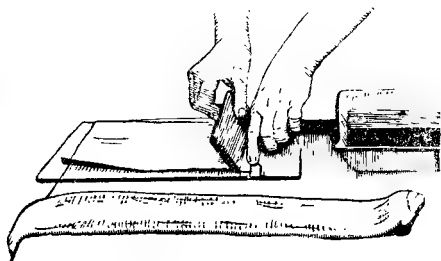


Рис. 93. Накладывание и притирание пигмента к бромистому отпечатку

с помощью притиралки. В этом случае цветные изображения получаются более сильными.

При работе с одной ванной такое отжимание является обязательным. Так как смешанный раствор работает быстрее и более энергично, необходимо еще более тщательно следить за равномерным смачиванием отпечатка.

Синий пигмент погружают в ванну № 2 так, как это показано на рис. 92. При этом передний край листа вводится медленно и равномерно под поверхность раствора. Когда этот край достигнет противоположного борта кюветы, ее наклоняют к себе так, чтобы жидкость ровно и без пузырьков покрыла поверхность листа. Замечают время погружения и покачивают кювету.

По истечении требуемого времени пигментный лист спокойно, но довольно быстро вынимается из кюветы так, чтобы слой был снизу, а большие пальцы обеих рук поверх листа. Накладывают левый край листа на левый край бромистого отпечатка и осторожно, но быстро накладывают весь лист на отпечаток, плотно прижимая левой рукой к стеклу. Наконец, берут притиралку в левую руку и притирают быстрыми движениями слева направо (рис. 93).

Поворачивают стекло на 90° и повторяют эту операцию, вытирая притиралку каждый раз.

Мы уже говорили выше о том, что изменение продолжительности второй ванны служит средством для изменения контраста Карбро-изображений и одновременно изменяет их силу. Увеличение продолжительности второй ванны влечет за собой смягчение и ослабление отпечатков, в то время как уменьшение ее вызывает противоположное действие. Учитывая то обстоятельство, что изменение контраста и силы отпечатка происходит одновременно, для уменьшений контраста путем изменения второй ванны нужно исходить из сильных отпечатков, так как их сила при этом уменьшится. Аналогичные соображения имеют силу и при увеличении контраста.

13. КОНТАКТ С БРОМИСТЫМ ОТПЕЧАТКОМ

Операция притирания пигмента к бромистому отпечатку является самой ответственной во всем процессе и причиной неудач чаще всего служат неправильности в этой стадии работы.

Самый метод притирания намокшего пигмента к мокрому бромистому отпечатку с помощью резиновой линейки-притиралки вызывает серьезные возражения, особенно при больших форматах отпечатка.

Вода, оставшаяся на бромистом отпечатке, разбавляет неизбежно раствор в пигментном слое. Это обстоятельство является фактором непостоянным, зависящим как от количества воды, находящейся на отпечатке, так и от продолжительности притирания. Поэтому необходимо по возможности стандартизовать способ выжимания бромистого отпечатка из воды и следить за тем, чтобы на нем всегда оставалась равномерная пленка воды.

Самые светлые части бромистого отпечатка отбеливаются уже в течение нескольких секунд, в то время как притирание достаточно большого отпечатка занимает больше времени. Поэтому в случае больших отпечатков довольно значительное количество ферроцианида в этих местах переходит в смачивающую жидкость и при последующем притирании выдавливается вместе с ней прочь. В силу этого, передача ярких светов значительно ухудшается, если даже сам механизм процесса приспособлен надлежащим образом.

Можно наблюдать заметную разницу между отпечатками, в которых первое притирание шло от светлых частей к темным, и отпечатками, в которых притирание велось в обратном направлении. Это показано на рис. 94a и b. Отпечатки сделаны при совершенно одинаковых условиях, кроме направления притирания. На левом отпечатке

(рис. 94а), в котором притирание шло, начиная со светлых мест, заметна вуаль возле темных частей изображения. Это произошло потому, что образовавшийся в этих местах ферроцианид успел, до протирания, продиффундировать в смачивающую жидкость и попасть на соседние места изображения. Напротив, самая светлая ступень, которая притиралась первой, передана хорошо.

Правый отпечаток (рис. 94б) притирался в обратном направлении — от темных мест к светлым. Темные части почти совершенно свободны от вуали, в то время как самая светлая ступень практически отсутствует, потому что

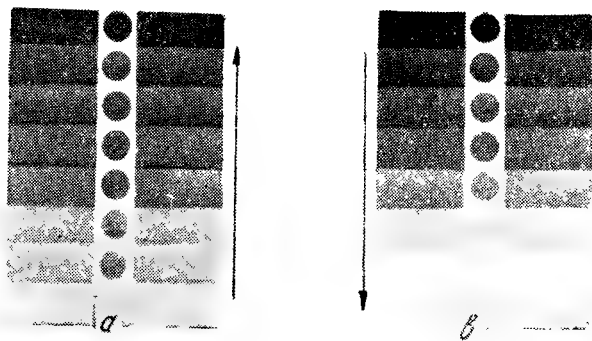


Рис. 94. Влияние направления притирания на передачу тонов в способе Карбро

образовавшийся здесь ферроцианид был полностью вытеснен при притирании из смачивающего раствора, куда он успел перейти до начала притирания.

При повторных сильных движениях притиралкой происходит некоторое растяжение пигментного слоя, что впоследствии может повлечь за собой несовпадение изображений.

Чтобы избежать этих неудобств и одновременно получить возможность вести притирание всегда совершенно одинаковым способом, в научно-исследовательской лаборатории Союзфото была сконструирована специальная машина. Машина состоит из подвижного стола, движущегося по рельсам в горизонтальном направлении, и двух валов, несущих на себе бесконечную толстую резиновую ленту. Мокрый бромистый отпечаток располагается на зеркальном стекле, лежащем на столе машины, а пигментный лист, вынутый из ванны, кладется слоем кверху на резиновую ленту.

При вращении рукоятки стол движется налево, резиновая лента увлекает с собой пигментный лист так, что по-

следний накладывается на бромистый отпечаток и одновременно прижимается к нему давлением валика через резиновую ленту. Конструкция машины обеспечивает наложение пигмента на бромистый отпечаток и одновременное плотное притирание. Этим устраняются неудобства, возникающие из-за наличия некоторого времени между наложением пигмента на отпечаток и моментом полного контакта между ними. Подобного же типа машина несколько другой конструкции описана в книге Клепикова.

За время контакта между пигментным слоем и бромистым отпечатком и происходят те сложные процессы, которые мы уже описывали. На ход этих процессов в сильной степени влияет температура, воздействуя как на химические реакции, так и особенно на скорость диффузии растворов, желатиновый слой и на степень его набухания. Поэтому поддержание постоянной оптимальной температуры не только растворов, но и всего рабочего помещения является в этом способе очень важным фактором.

Очень важную роль играет также влажность воздуха. Следует иметь в виду, что нам приходится для получения готового цветного отпечатка накладывать друг на друга в строгом совпадении три пигментных изображения. Поэтому всякого рода деформации желатинового слоя, которые определяются, в основном, содержанием в нем воды, должны быть строго одинаковыми. А этого возможно достичь только при поддержании в помещении постоянной температуры и влажности воздуха. Лучшим средством для этого является кондиционирование воздуха, хотя бы и не автоматическое. Наилучшей температурой следует признать 16—18° при относительной влажности 40—60%. Поддержание такой сравнительно низкой влажности в помещении, где постоянно работают с большими количествами горячей воды, следует считать нелегкой задачей.

Пигментный лист, находящийся в контакте с бромистым отпечатком, следует предохранять от высыхания, могущего причинить неравномерное дубление желатины, покрывая его пергаментной бумагой.

Реакция отбеливания изображения заканчивается сама по себе примерно минут через 5 в зависимости от температуры и состава раствора. Однако реакции, происходящие в толще пигментного слоя, требуют еще некоторого времени: обычно, продолжительность контакта с бромистым отпечатком составляет 10—15 мин. Смешанные растворы требуют для этого меньшего времени: минут 5—7.

При существующих рецептах очувствляющих растворов эти реакции идут все время от соприкосновения очувствленного пигмента с бромистым отпечатком и кончая проявлением пигмента в горячей воде. Поэтому промежуток вре-

мени между этими двумя процессами должен быть точно стандартизован.

Чем он больше, тем в известных пределах сильнее получающееся пигментное изображение. Этим можно воспользоваться в случае надобности для некоторого изменения силы отдельных цветных изображений. Если, как обычно очувствление ведут в таком порядке: синий, красный и желтый пигменты, то и проявление ведут в том же порядке. Если желательно несколько ослабить желтое изображение, его следует проявить раньше других. Совершенно аналогичным образом очувствляют красный и желтый пигменты.

При работе по такому способу необходимо для каждой новой серии отпечатков применять свежую ванну.

14. ПЕРЕНОС НА ЦЕЛЛУЛОИД И ПРОЯВЛЕНИЕ ПИГМЕНТНОГО ИЗОБРАЖЕНИЯ

Изображение из задубленной желатины находится теперь на поверхности пигментного слоя и только в очень плотных местах простирается далеко вглубь, не достигая, однако, бумажной подложки. Само собою разумеется, что изображение в таком виде не может быть подвергнуто проявлению в горячей воде, так как незадубленная желатина при этом расплавится, все изображение отделится от бумажной подложки и сплывет. Чтобы избежать этого, пигментное изображение переносят на подложку, служащую ему носителем.

В качестве такой подложки в процессе Карбро применяют листы целлулоида, покрытые тонким слоем воска, для того, чтобы облегчить впоследствии перенос задубленного пигментного изображения на бумагу.

Вощильный раствор готовят, растворяя приблизительно 0,3 г воска в 140 см³ хорошего бензина. Воск можно приобрести готовым или приготовить самому, сплавляя 1 часть спермацета с 1 частью белого пчелиного воска.

Если целлулоид не был еще в употреблении и очень блестящий, то рекомендуется его хорошо промыть мылом с небольшим количеством тонкой пемзы или зубного порошка, чтобы слегка матировать поверхность.

Наващивание удобно производить с помощью фланелевых тампонов. Небольшое количество вощильного раствора брызгается на один из тампонов и на поверхность целлулоида и тщательно растирается по поверхности. После этого тщательно полируют другим чистым тампоном, пока сухой палец не будет оставлять никаких следов на вощелом целлулоиде, но в то же время след от ногтя будет заметен. Перед полированием лучше дать высохнуть воще-

ному целлулоиду в течение 2—3 мин. Слои воска должны быть нанесены равномерно и ни в коем случае не должны быть слишком толстыми. Вошеную сторону целлулоида следует отметить каким-нибудь образом.

По истечении нужного времени синий пигментный лист осторожно удаляется с бромистого отпечатка, причем края пигментного листа, выступающие за бромистый отпечаток, срезаются.

Пигментный лист должен отделяться от бромистого отпечатка с некоторым усилием; если этого не наблюдается, то это указывает либо на чрезмерно долгое пребывание в первой ванне, либо на недостаточно плотное притирание и может повлечь за собой сморщивание при проявлении.

Бромистые отпечатки, с которых снят пигмент, могут быть использованы еще несколько раз, если их хорошо промыть и снова проявить в метоловом проявителе. Если на отпечатках появляются пузыри при втором проявлении, отпечатки следует сперва высушить, а затем проявлять. Перед употреблением их снова надо обработать в 2%-ной уксусной кислоте, как было указано выше.

Следует иметь в виду, что при таком повторном проявлении плотность и контраст отпечатка обычно весьма заметно меняются. Однако это не всегда должно вызвать соответствующее изменение плотности таких отпечатков (обычно в сторону увеличения). Такое изменение плотности происходит не вследствие увеличения количества металлического серебра, а вследствие изменения его кроющей способности.

Если пигмент склонен отставать от целлулоида при проявлении, то рекомендуется после отделения пигмента от бромистого отпечатка поместить пигмент на 1 мин. в ванну из 50%-ного спирта.

Пигментный лист накладывается под водой слоем вниз на вошеную сторону целлулоида и плотно притирается. Эта операция должна производиться точно таким же образом, как и при притирке к бромистому отпечатку.

Механизм этой процедуры совсем не так прост, как это может казаться с первого взгляда. Пигментный желатиновый слой не полностью набухает в предшествующих операциях, в особенности в своих глубоких частях, прилегающих к бумажной подложке. При притирании пигментного листа к целлулоиду вода, смачивающая лист, вытесняется и начинается диффузия воды из верхних более набухших частей к внутренним. Это сопровождается своего рода присасыванием к твердой, непроницаемой для воздуха и воды поверхности целлулоида.

Чтобы обеспечить возможно более плотное прилегание пигмента к целлулоиду, необходимо, чтобы между ними не

мог попасть воздух через края пигментного листа. Для этого и служат те защитные поля, которые мы оставляем на бромистом отпечатке. В этих местах желатина пигментного слоя не задубливается и, плотно прилегая к целлулоиду, предотвращает проникновение воздуха внутрь.

Листы целлулоида с пигментом кладутся между листами газетной бумаги и оставляются на 10 мин.

В большую кювету наливают горячей воды для проявления. Температура воды зависит от сорта применяемого пигмента и определяется температурой его плавления (в незадубленном состоянии). Советские образцы пигментов

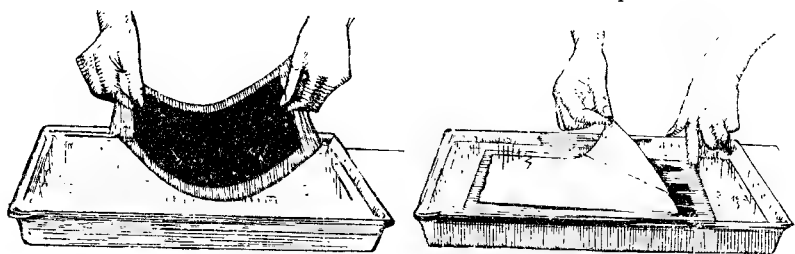


Рис. 95 и 96. Проявление пигментного изображения

требуют температуры $36—38^{\circ}$. Лучшие сорта заграничного пигмента проявляются при $45—50^{\circ}$. Если пигмент имеет склонность морщиться и отставать при проявлении, то к воде для проявления рекомендуется прибавлять 5% раствора хромовых квасцов в количестве $10—12 \text{ см}^3$ на 1 л воды.

Целлулоид с пигментом берут двумя руками пигментом вниз, слегка сгибают, как показано на рис. 95, и осторожно кладут на поверхность воды. Через несколько секунд переворачивают целлулоид пигментом кверху и погружают в воду. Когда пигмент начинает растворяться по краям, осторожно стягивают бумажную подложку (рис. 96) и отбрасывают ее прочь.

Целлулоид все время двигают в воде, время от времени приподнимая, чтобы дать сбегать растворившемуся пигменту. Когда все растворится, целлулоид тщательно споласкивают теплой водой и вешают для просушки. Заднюю сторону целлулоида рекомендуется протереть досуха клочком ваты.

Когда целлулоиды высохнут, можно их рассмотреть для приблизительного определения цветового баланса. Удобно для этого рассматривать их поодиночке на ящике с матовым стеклом и лампой, как это применяется для рассматривания негативов. Для лучшего распознавания тонких деталей и оценки плотностей можно рассматривать цветные изображения через слабый светофильтр, окрашенный в цвет,

дополнительный к цвету изображения. Можно попробовать наложить их друг на друга для приблизительной оценки полученного изображения. При этом, чтобы не поцарапать нежного пигментного слоя, рекомендуется проложить между целлулоидами листы тонкого целлофана.

15. ПЕРЕНОС НА ПОДЛОЖКУ

В окончательном цветном изображении желтый пигмент, вследствие его непрозрачности, должен находиться снизу и, казалось бы, что следует поэтому переносить на бумажную подложку желтый пигмент первым. Такой метод простого переноса имеет, однако, ряд недостатков. Во-первых, трудно контролировать совмещение изображений и получается блестящая и нехудожественная поверхность. Помимо этого, изображение (если не прибегать к обращению при увеличении) получается зеркально обращенным. Чтобы избежать всех этих неудобств, применяют метод двойного переноса, позволяющий получать цветное изображение на любой бумаге, а также на стекле, дереве или ткани.

Кусок временной растворимой подложки (такой же величины, как и пигментный лист) размачивают в холодной воде минут 5, следя при этом за отсутствием воздушных пузырьков на желатиновом слое, обращенном вниз.

Целлулоид, несущий синее пигментное изображение, подводится под бумагу и вытягивается вместе с ней из воды, причем легкими ударами пальцев удаляют воздушные пузырьки. Дают стечь воде, кладут бумагой кверху на стекло и осторожно притирают. Вытирают бумажную сторону сложенным мягким полотенцем, кладут сверху лист сухой пропускной бумаги и прокатывают роликом, чтобы удалить как можно больше влаги. Обсушив заднюю сторону целлулоида, вешают на $1\frac{1}{2}$ часа в токе сухого теплого воздуха для просушки.

После полного высыхания бумага, на которую перешло синее изображение, должна сама отстать от целлулоида. Никким образом не следует ее сдирать, иначе света останутся на целлулоиде и изображение будет испорчено. Допустимо лишь помогать удалению бумаги путем легкого изгибания целлулоида.

Синее изображение уносит с собой с поверхности целлулоида немного воска, который должен быть самым тщательным образом удален. Для этого наливают достаточное количество хорошего бензина на ватку и проводят ею по изображению 2—3 раза, вытирают и полируют мягкой тканью. Эта операция очень важна и абсолютно необходима для успеха работы.

После удаления воска необходимо совместить красное изображение с синим. Для этого бумагу с синим изображением размачивают 2—3 мин. в воде и целлулоид с красным изображением подсовывается под нее. Примерно через 15 сек. оба листа вытягиваются и переворачиваются так, чтобы изображения были видны через целлулоид. Бумагу двигают до тех пор, пока будет достигнуто достаточно хорошее совпадение. Затем кладут целлулоид на стекло бумагой кверху и осторожно и мягко протирают один раз. Подняв целлулоид, убеждаются, что совпадение при этом не нарушилось (если это имело место, то исправляют осторожным движением бумаги), кладут целлулоидом на лист пропускной бумаги и, рассматривая изображение в лупу, проверяют точность совпадения, поправляя в случае необходимости осторожным движением целлулоида.

Иногда наблюдают, что синее изображение слегка больше остальных. Это может происходить из-за недостатков объектива. Чтобы устранить этот недостаток, помещают лист картона или целлулоид под бромистую бумагу, когда получают синее увеличение. Этим изображение несколько уменьшается и может быть совмещено с другими.

Если снимаемый объект контрастен, то пигментное изображение в мокром виде обладает значительным рельефом. В таком случае рекомендуется плотнее прижать с помощью тампона из мягкой сухой ткани тонкие светлые части изображения, чтобы заставить их пристать друг к другу.

Иногда после первого движения притиралки совпадение обоих изображений нарушается и оказывается затруднительным двигать бумагу. Это вызывается недостаточным размоканием красного изображения. В таком случае не следует применять силу, а нужно положить целлулоид на несколько секунд в холодную воду, очень осторожно стянуть с него бумагу и повторить операцию совмещения.

После того как совпадение будет достигнуто, кладут сверху лист пропускной бумаги, прокатывают роликом и вешают для просушки. С высушенного отпечатка удаляют воск и наносят таким же способом желтый отпечаток.

Обычно совмещение желтого изображения представляет некоторые трудности вследствие его слабой окраски. Очень удобно применять при этой операции очки с синими стеклами (светлыми). Желтое изображение кажется при этом темным и за совпадением становится легко следить. Листы целлулоида, с которых перешло изображение, после основательного протирания ватой, смоченной бензином, готовы для следующего наващивания.

Куску постоянной подложки дают размокнуть в течение 10 мин. в холодной воде. После удаления воска с желтого изображения, бумага подкладывается под политую же-

латиную сторону подложки и ее оставляют набухнуть не более, чем на 30 сек. Две бумаги затем вытягивают вместе, удаляют пузырьки воздуха, кладут на стекло временной подложкой сверху и притирают плотно сперва плоской притиралкой, а затем роликом через пропускную бумагу. Проложив с обеих сторон листами пропускной бумаги, все кладут под стекло и ставят на него груз (тяжелую книгу), оставляя так минут на десять.

Большую кювету наполняют водой при 45° и через 10 мин. кладут обе бумаги временной подложкой вниз на поверхность воды. Через минуту, когда углы начнут скручиваться кверху, погружают бумагу осторожно в воду и удаляют пузырьки воздуха. В это время растворимый желатиновый подслои временной подложки расплавляется и очень осторожно, прижимая временную подложку пальцами левой руки ко дну кюветы, медленно снимают постоянную подложку (рис. 97).

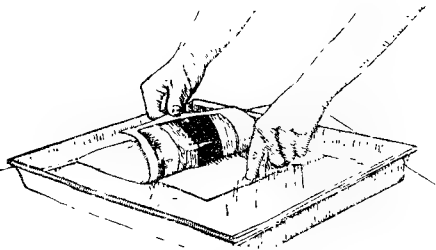


Рис. 97. Перенос на постоянную подложку

Избыток растворимой желатины на поверхности изображения смывается осторожным обливанием теплой водой. Отпечаток затем погружается на 2 мин. в холодную воду и вешается для сушки. Чем медленнее идет сушка, тем более матовой будет высохшая поверхность.

16. ОШИБКИ И НЕУДАЧИ ПРИ РАБОТЕ ПО СПОСОБУ КАРБРО

Наиболее частым видом являются ошибки в цветовом балансе, вызванные преобладанием или недостатком одного из цветов или неодинаковым контрастом изображений.

Для распознавания тонких различий в цветовом балансе следует пользоваться серой шкалой на изображении. При правильном балансе все ступени шкалы должны быть одинакового серого цвета.

Для того чтобы легче определить избыток или недостаток какой-нибудь из красок (в таком случае шкала приобретает цветной оттенок), рекомендуется пользоваться слабыми светофильтрами пурпурного, желтого и сине-зеленого цветов. Они готовятся путем окраски, отфиксирования пластинок или листков целлофана в слабых водных растворах соответствующих красителей. Фильтры должны быть окрашены настолько слабо, чтобы их цвет был едва заметен. Следует иметь набор таких фильтров разной степени плотности.

Накладывая также фильтры на серую шкалу изображения, легко подобрать такую комбинацию, чтобы серая шкала казалась серой. Небольшой опыт поможет установить требуемое изменение в плотности отдельных цветных изображений, нужное для достижения правильного баланса.

Лучше поступать следующим образом. На очень мягкой бумаге, пользуясь мягким (например глициновым) проявителем, готовят ступенчатую шкалу, состоящую из слабых оттенков серого. Ступени шкалы подбирают таким образом, чтобы плотность каждой следующей ступени была на определенную малую величину больше предыдущей.

Шкалу затем разрезают на три части и готовят с них опытным путем три цветных пигментных изображения на прозрачной подложке. Лучше при этом брать для проявления не целлулоид, который обычно слегка желтоват, а чистое стекло, покрытое тонким слоем сильно задубленной желатины.

При применении целлулоида не следует его вощать. Для защиты пигментного слоя его можно покрыть лаком.

Такие ступенчатые цветные шкалы применяются так же, как описанные выше светофильтры. Так как приращения плотностей у каждой из ступеней шкал известны, легко

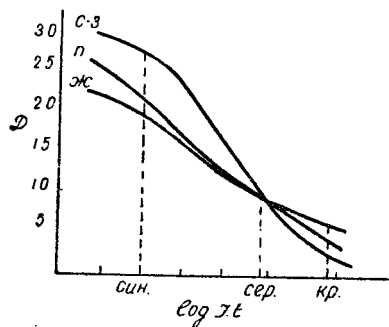


Рис. 98. Результаты неодинакового контраста отпечатков

определить требуемое для правильного баланса увеличение плотности цветного изображения.

Нужное изменение плотностей пигментных изображений проще всего достигнуть увеличением выдержки при бромистой печати. Изменяя продолжительность контакта пигмента с бромистым отпечатком и время пребывания на целлулоиде, также можно влиять на плотность пигментного изображения.

Значительно сложнее исправить недостатки цветного баланса, возникающие из-за неодинакового контраста изображений. В этом случае поля серой шкалы имеют различный цветной оттенок: светлые — один, а темные — другой (рис. 98).

Контраст пигментных изображений можно вариировать, изменяя время обработки во второй ванне или концентрацию второго раствора. Однако этим следует пользоваться с осторожностью, помня о том, что слишком короткое пребывание во второй ванне ухудшает передачу полутонов, а сила изображения при этом также меняется.

Больше всего следует стремиться к сохранению тонких деталей в светах. Поэтому следует избегать слишком контрастных негативов и бромистых отпечатков. Контрастные бромистые отпечатки с чрезмерными плотностями дают также контрастные пигментные изображения с высоким рельефом. Это создает большие затруднения при переносе изображений, так как слишком толстые набухшие части изображения мешают достаточно полному сцеплению тонких мест.

В заключение приведем сводку наиболее часто встречающихся недостатков и способов их устранения (см. табл. на стр. 200—204).

17. ПРИМЕНЕНИЕ ЦЕЛЛОФАНОВОЙ ПОДЛОЖКИ

(Способ Целлохром)

Следует упомянуть об одном любопытном усовершенствовании способа Карбро, которое было предложено Баумбахом (Baumbach).

Основной принцип этого способа состоит в том, что контакт между бромистым отпечатком и очувствленным пигментом осуществляется не непосредственно, а через очень тонкий (0,01—0,015 мм) листок набухшего в воде целлофана, лежащий между ними.

Очувствляющие растворы и продукты реакции свободно диффундируют через целлофан и таким образом он не препятствует реакции. После окончания отбеливания пигмент вместе с бромистым отпечатком и целлофаном погружают в горячую воду.

Бумажная подложка пигмента удаляется и в результате проявления на целлофане остается пигментное изображение, не требующее никакого переноса.

Три полученных таким путем пигментных изображения на целлофановых пленках склеиваются между собой в точном совпадении и наклеиваются на бумагу. Этим заканчивается весь процесс, который может быть проведен в полчаса.

Автором в лаборатории ГУФП были поставлены опыты по применению этого способа, который получил условное название Целлохром.

Очувствление пигмента проводится таким же образом, как было описано выше. На бромистый отпечаток, вынутый из воды и лежащий на стекле, накладывается листок набухшего в воде целлофана, размером несколько большим, чем пигментный лист, и довольно плотно притирается с помощью притиралки к отпечатку. При этом нужно следить, чтобы целлофан лег совершенно ровно и между ним и отпечатком не оставалось пузырьков воздуха.

Дефект	Возможные причины	Устранение
Не удается подобрать такой выдержки, чтобы контрольная шкала была одинаковой на всех трех бромистых отпечатках	Неодинаковый контраст негативов	Если разница в контрасте невелика, отпечатки с более контрастных негативов следует проявить в метоловом мягком проявителе, а с мягких — в гидрохиноновом. Усилить более слабый негатив. Увеличить время погружения во вторую ванну для более контрастных отпечатков
Пигментная бумага не отделяется от бромистого отпечатка	Слишком большая продолжительность контакта Слишком высокая температура	В жаркую погоду следует уменьшить продолжительность контакта до 5 мин. Отпечаток с пигментом следует во время контакта прикрывать восковой бумагой для предотвращения испарения
Бумажная подложка не отделяется от целлулоида при проявлении или изображение не проявляется	Слишком большая продолжительность контакта с целлулоидом Пигмент задубился на солнечном свете Загрязнение посуды или растворов такими веществами, как гипосульфит или формалин Старый пигмент	В жаркую погоду следует уменьшать продолжительность всех операций Следует применять чистую фарфоровую или стеклянную посуду специально для Карбро

Дефект	Возможные причины	Устранение
Царапины на изображении при совмещении	Частицы ржавчины в воде Операция совмещения велась слишком долго	Фильтры из марли на водопроводных кранах Смачивать целлулоид перед совмещением в 2%-ном растворе желатины
Изображение отстает от целлулоида при проявлении	Недостаточные поля на бромистом отпечатке	Маленькие морщины или вспучивание слоя при проявлении могут быть устранены если целлулоид вынуть из воды и с помощью кисточки осторожно обработать эти места спиртом. Проявление затем осторожно ведется в более холодной воде
	Слишком горячая вода при проявлении	Исправить осторожным добавлением хромовых квасцов Следует сократить время купания в первой ванне до 1,5 мин.
	Температура помещения слишком высока Слишком много воска нанесено на целлулоид Целлулоид был слишком сильно согнут при погружении в горячую воду Поверхность целлулоида слишком гладкая	Новые листы целлулоида должны слегка матироваться промыванием мылом с пемзой или с зубным порошком. Если это не поможет, следует применять альбуминный подслои

Дефект	Возможные причины	Устранение
Отпечатки не совпадают при совмещении	Бромистые отпечатки неодинаковой величины Негативы неодинаковой величины, возможно вследствие плохой коррекции объектива (синее изображение в этом случае больше и несколько менее резко, чем остальные) Многие цветоделющие камеры дают изображение неодинаковой величины Слишком сильное растягивание временной подложки при переносах Неравномерная сушка	См. в тексте стр. 196
Изображение очень слабое	Слишком слабые (недопроявленные) бромистые отпечатки Задубленные бромистые отпечатки Бромистая бумага имеет защитный слой Слишком много воды на бромистом отпечатке перед совмещением Слишком низкая температура	
Света смываются при проявлении	Слишком высокая температура очувствляющих ванн Осадок извести от промывной воды на бромистых отпечатках Слишком малая продолжительность второй ванны	Ванна из уксусной кислоты При нормальных условиях температуры продолжительность обработки во второй ванне должна быть не менее 15 — 20 сек.

Дефект	Возможные причины	Устранение
В цветном изображении отсутствуют детали в светах	Задержка в притирании пигмента к отпечатку после их накладывания Слишком много воды на бромистом отпечатке Очень жесткая промывная вода Загрязнение ванн Слишком контрастные негативы Бромистая бумага имеет защитный слой	Если есть возможность, лучше применять машинное притирание Достаточен очень тонкий, но равномерный слой воды
Местные цветные полосы и пятна неправильной формы	Фрикционная вуаль на бромистых отпечатках, которая может быть незаметна на глаз Неравномерно проявленные негативы или позитивы Плохо промытые после проявления изображения на целлулоиде	Обращаться с бромистой бумагой очень осторожно См. в тексте стр. 182 Хорошо промывать целлулоиды в теплой воде после проявления
Круглые пятна с темными краями, рассеянные по отпечатку группами	Слишком высокая температура вызывает образование пузырьков воздуха, которые, раздавливаясь при притирании, разрушают нежный желатиновый слой	Поддерживать нужную температуру растворов

Дефект	Возможные причины	Устранение
Вуаль на цветном изображении	Вуалированные бромистые отпечатки Растворы составлены на водопроводной воде Слишком много хромовых квасцов при проявлении Солнечный свет попадал на очувствленный пигмент	Для составления растворов применять только дистиллированную воду
Неправильный цветовой баланс по всему отпечатку	Если этот недостаток повторяется с новыми бромистыми отпечатками, то негативы будут неравномерно проявлены Если баланс изменяется от отпечатка к отпечатку, были допущены неправильности в очувствлении и притирании пигмента, например неравномерное смачивание пигмента очувствляющими растворами Недопроявленные бромистые отпечатки Истощенная ванна № 2	Проявлять позитивы не менее 1,5—2 мин. Не следует пользоваться ванной больше, чем для трех листов пигмента

Листы целлофана перед употреблением промываются минут 10 в воде для удаления содержащегося в них глицерина.

На подготовленный таким образом бромистый отпечаток накладывается очувствленный пигмент и притирается как обычно. Так как диффузия раствора через целлофан протекает не мгновенно, можно производить притирание гораздо более спокойно и не торопясь.

Контакт с бромистым отпечатком длится минут 20—30, после чего весь приготовленный слой осторожно снимают со стекла, не отделяя пигмента, и погружают в горячую воду для проявления. При этом бромистый отпечаток служит подкладкой для целлофановой пленки.

Бумажную подложку пигмента снимают и продолжают проявление, удерживая целлофан на бромистом отпечатке. После окончания проявления и промывки целлофановую пленку для смягчения (пластификация) помещают минут на 10 в теплый 10—15%-ный раствор глицерина.

Когда все три изображения на целлофане будут проявлены и смягчены в глицерине, желтое изображение вынимают из воды и кладут слоем вверх на чистое стекло. На него накладывают, избегая воздушных пузырьков, красное изображение и, двигая пленку, добиваются полного совмещения. Целлофановая пленка довольно легко растягивается и таким путем можно исправить весьма большое несовпадение изображений.

Таким же образом накладывают синее изображение: кладут сверху чистый лист размягченного в глицерине целлофана и осторожно притирают.

18. ТЕХНОЛОГИЯ ПРОИЗВОДСТВА ПИГМЕНТНОЙ БУМАГИ

Выбор красителей

Основным материалом в способе Карбро является пигментная бумага трех цветов: желтого, сине-зеленого и пурпурного.

Пигментная бумага состоит из желатинового слоя, содержащего известное количество тонко растертой нерастворимой в воде краски (пигмента) соответствующего цвета. Этот слой полит на бумажную подложку.

Сырьем для производства пигментной бумаги служат красители (пигменты), желатина (с добавлением некоторых веществ) и бумажная подложка.

Выбор красителя, применяемого для изготовления пигментной бумаги, определяется в основном следующими условиями: 1) спектральной кривой отражения; 2) возможно более высокой прозрачностью при достаточной интенсивности окраски; 3) нерастворимостью в воде; 4) химической стойкостью по отношению к применяемым очувств-

ляющим реактивам; 5) светопрочностью; 6) отсутствием вредного влияния на желатину как в процессе полива, так и при хранении слоя.

Требования к спектральной характеристике пигментов были уже сформулированы в главе III. Однако, как мы уже указывали там же, все существующие красители только

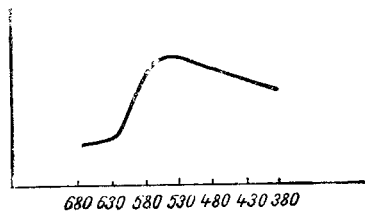


Рис. 99. Кривая спектрального отражения красного пигмента (литоль красный)

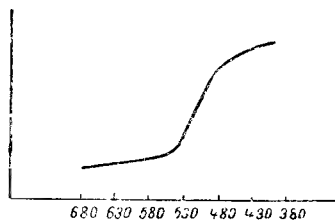


Рис. 100. Кривая спектрального отражения желтого пигмента (ганза желтая)

в некоторой степени удовлетворяют этим требованиям. Еще большие затруднения возникают в силу того, что краситель, применяемый для получения пигментной бумаги, должен обязательно удовлетворять и остальным перечисленным требованиям. В частности, весьма трудно получить подходящие пурпуровые красители с достаточной степенью светопрочности. То же имеет место и для сине-зеленых красителей, где кроме того значительным препятствием является требование стойкости к действию

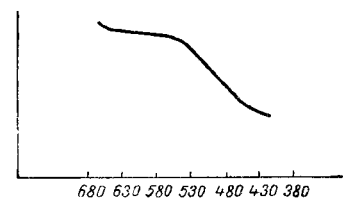


Рис. 101. Кривая спектрального отражения синего пигмента (берлинская лазурь)

сильно кислых очувствляющих растворов. При выборе желтых красителей приходится в особенности считаться с условиями 2) и 6), выполнение которых в этом случае наиболее затруднительно.

В лаборатории цветных изображений НИКФИ была проделана большая работа по подбору красителей для производства советской пигментной бумаги. Из красителей советского производства наиболее пригодными для этих целей оказались следующие: желтый пигмент — ганза желтый марки 5 G; красный (пурпуровый) пигмент — литоль рубин БК; синий (сине-зеленый) пигмент — берлинская лазурь (в тюбиках) производства Всекохудожника.

Кривые спектрального отражения этих пигментов при различных концентрациях красителя приведены на рис. 99, 100, 101. Как видно, они (кроме желтого) весьма сильно отличаются от теоретических.

Кривые спектрального отражения этих пигментов при различных концентрациях красителя приведены на рис. 99, 100, 101. Как видно, они (кроме желтого) весьма сильно отличаются от теоретических.

Пигментная бумага, выпускаемая Автотипной компанией (Лондон) для способа Карбро бывает двух сортов. Одна серия (№ 2) составлена из желтого, красного и синего пигментов, весьма близких по своим спектральным характеристикам к советским красителям, приведенным выше. Другая, недавно выпущенная серия (№ 3), изготовлена со значительно улучшенными пигментами, кривые отражения которых лучше согласуются с теоретическими требованиями: желто-зеленоватым, пурпурным и сине-зеленым.

Химическая природа примененных для этой цели пигментов неизвестна, но можно полагать, что они относятся к группе цветных лаков (фарблаки). По имеющимся литературным указаниям сине-зеленый краситель относится к классу фталоцианиновых производных (монастраль).

Красители, применяемые для изготовления пигментной бумаги, должны быть хорошо очищены (если возможно, путем перекристаллизации из какого-нибудь растворителя), и тщательно размолоты (лучше всего на шаровой мельнице). При домашнем изготовлении небольших количеств пигментной бумаги краску можно тонко растереть на стеклянной пластинке.

19. ТЕХНОЛОГИЯ ПОЛИВА ПИГМЕНТНОЙ БУМАГИ

Желатина пигментного слоя служит не только средой, в которой распределены частички пигмента, но и основным участником реакции дубления, в результате которой образуется пигментное изображение. Поэтому свойства желатины имеют существенное влияние на качество пигментной бумаги.

Наибольшее значение для наших целей имеют те свойства желатины, которые характеризуют ее способность к задубливанию. Опыты, проведенные на фабрике № 4 в Ленинграде (В. Уваров и Н. Туманов), показали, что „число хромовых квасцов“ (см. гл. IX, § 2) может с успехом служить для определения этой характеристики. Установлено, что желатину с числом хромовых квасцов ниже 3,0 не следует употреблять для изготовления пигментных бумаг, так как вследствие сильной задубливаемости такой желатины избыток пигмента отмывается с трудом, что сильно затягивает проявление.

При выборе желатины для изготовления пигментной бумаги следует избегать таких сортов желатины, которые получают на производстве в результате смешения двух или нескольких бульонов. В результате этого в слое присутствуют желатины с резко различными величинами мицелл, что приводит к местным скоплениям трудно задубливаемых продуктов разложения желатины. Следствием та-

кого неравномерного распределения может явиться зернистость — грануляция — слои и даже частичное смывание деталей.

При выработке рецептуры поливаемой суспензии и режима полива приходится учитывать ряд требований, которым должна удовлетворять пигментная бумага.

Концентрации красителей в суспензиях, идущих для приготовления трех цветов пигментной бумаги, должны быть подобраны таким образом, чтобы обеспечить правильный цветовой баланс. Критерием этого служит возможность получения серого цвета при наложении друг на друга равных количеств всех трех пигментов. Такое испытание проводится следующим образом. На листе бромистой бумаги получают ступенчатую серую шкалу и разрезают ее вдоль на три части. Каждую из этих частей переводят обычным путем в пигментное изображение и все три цветные шкалы, полученные таким путем, переносят на подложку. Варируют концентрации пигментов в слое до тех пор, пока изображение шкалы не будет возможно более серым и обладать достаточной плотностью.

Пигментный слой должен быть достаточно толстым и содержать большое количество желатины. Толщина пигментного слоя определяет собой количество поглощенных им очувствленных растворов и, следовательно, должна быть подобрана с таким расчетом, чтобы обеспечить достаточное содержание этих веществ в слое. Кроме того необходимость создания определенного распределения очувствляющих реактивов в слое также требует довольно значительной толщины пигментного слоя. Толщина слоя заграничных пигментных бумаг Автотипной компании составляет около 0,06—0,075 мм (по измерениям В. А. Уварова).

Предварительная рецептура суспензий для полива пигментной бумаги, принятая на фабрике № 4, следующая:

Синяя бумага

Воды	850 см ³
Желатины	150 г
Сахара	37,5 „
Глицерина	30 см ³
Берлинской лазури (в пасте)	27 г

Красная бумага

Воды	850 см ³
Желатины	150 г
Сахара	37,5 „
Глицерина	30 см ³
Литоль-рубин БК (сухой)	8,5 г

Желтая бумага

Воды	850 см ³
Желатины	150 г

Глицерина	30 см ³
Сахара	37,5 г
Ганзы желтой Г (сухой)	15,3 "
Ганзы желтой 10 Г (сухой)	10,2 "

Полив производится при температуре 35—36°. Нанос суспензии составляет 400—450 г на 1 м² бумаги.

В качестве подложки применяется небаритованный сырец плотностью 130 г на 1 м².

Сахар и глицерин, прибавляемые к желатиновой суспензии, служат для смягчения (пластификации) и для придания слою некоторой гигроскопичности. Заграничные сорта пигментных бумаг содержат еще обыкновенно 10—15% мыла.

Для увеличения толщины нанесенного слоя (это встречается большие затруднения при машинном поливе) в лаборатории ф-ки № 4 был разработан метод двуслойного полива. На бумагу сперва наносится один слой и после его умеренного высыхания производится полив второго слоя. Приводим пример рецепта для такого полива:

Воды	890 см ³
Желатины	110 г
Глицерина	22 см ³
Сахара	27 г
Берлинской лазури в пасте	20 "

Нанос на каждый слой составляет 250—300 г.

При домашнем изготовлении пигментной бумаги можно пользоваться приведенной ранее рецептурой, увеличивая только нанос до 500—600 г на 1 м². Способ самостоятельного полива пигментной бумаги описан в книге Клепикова „Позитивные процессы на солях хрома“.

Готовую пигментную бумагу (выпускаемую в виде рулонов или нарезанную на листы соответствующего размера) следует хранить в прохладном, не слишком сухом, но и не чрезмерно влажном месте. Лучше всего упаковывать пигментную бумагу в непроницаемые для воздуха жестянки. Листы пигментной бумаги следует сохранять под небольшим грузом.

Слишком большая сухость воздуха при хранении делает пигментный слой ломким. В таком случае следует поместить бумагу на несколько часов в более влажное место. Сырость вызывает образование плесени и склеивание листов друг с другом. Вредно также присутствие в воздухе веществ, дубящих желатину: сернистой кислоты (кислый фиксаж), сероводорода, аммиака, светильного газа, формалина и т. п.

Следует тщательно избегать прикосновения пальцев к пигментному слою, так как тонкий слой жира, остающийся в этих местах, может препятствовать реакциям и вызвать вследствие этого пятна.

20. ИЗГОТОВЛЕНИЕ ПОДЛОЖЕК

Временная (растворимая) подложка в способе Карбры представляет собой бумагу, политую тонким слоем недубленной желатины. Хорошая временная подложка должна удовлетворять следующим требованиям:

Возможно менее деформироваться при размокании и сушке.

Быть достаточно тонкой и хорошо проклеенной, чтобы она быстро размокала и быстро высыхала. Вместе с тем она должна обладать большой механической прочностью в намокшем состоянии.

Поверхность бумаги должна быть совершенно гладкая. Для этого бумажную подложку (сырец) перед поливом хорошо каландрируют (раза три — четыре).

Температура плавления желатинового слоя временной подложки должна быть около 30° . Вместе с тем желатина должна обладать довольно высокой твердостью студня, чтобы не деформироваться и не повреждаться при притирании изображения.

Толщина желатинового слоя должна соответствовать носу 170 см^3 7%-ной желатины на 1 м^2 (Н. А. Тихомирова).

Для испытания временной подложки производят с ней пробные переносы изображения.

Постоянная подложка, являющаяся носителем готового цветного изображения, состоит из плотной бумаги, политой слоем задубленной желатины. В качестве такой подложки можно употреблять фотографическую бумагу, отфиксированную без засвечивания и задубленную (после тщательной промывки) в 5%-ном растворе алюмокалиевых квасцов. Бумагу можно для этого употреблять с любой поверхностью, кроме глянцевых и слишком крупнозернистых. Для больших форматов лучше применять гладкие или полуматовые сорта.

При фабричном производстве постоянной подложки применяют плотную баритованную бумагу (картон, плотностью 240 г на 1 м^2), политую желатиновым слоем по такому рецепту (Н. А. Тихомирова):

Воды	1000 см^3
Желатины	50 г
Квасцов	2,5 "

ГИДРОТИПНЫЕ СПОСОБЫ. СПОСОБ ДУКСОХРОМ

1. ПРИНЦИП ГИДРОТИПНОЙ ПЕЧАТИ

Хотя при рассмотрении различных методов субтрактивной позитивной печати, основанных на дублировании желатины, мы классифицировали их в зависимости от способа получения желатинового рельефа, однако при описании техники работы с ними удобнее выделить в одну группу все те способы, в которых изображение переводится на бумагу или другую подложку с помощью гидротипной печати.

В этом случае полученный тем или иным путем желатиновый рельеф окрашивается в водном растворе соответствующей краски, которая адсорбируется в количестве, зависящем от толщины рельефного изображения в данном листе (для способов вымывного рельефа) или от степени задубленности желатины (для рельефа набухания).

Когда такой окрашенный рельеф приводится в тесный контакт с бумагой, покрытой слоем набухшей желатины, то краска диффундирует из рельефа в желатиновый слой, давая на бумаге цветное изображение.

Для получения окрашенного таким путем желатинового изображения можно использовать три пути:

Прокрашивание рельефного изображения, получившегося в результате проявления в горячей воде (Якобсен, 1873 г.).

Использование красителей, которые лучше окрашивают незадубленную желатину (Эдвардс, 1875; Кро (Cros), 1880 г.). В этом случае для получения позитивного изображения печать нужно вести с позитива же.

Применения красителей, которые окрашивают по преимуществу задубленные места (Шардон, 1875 г.; бр. Люмьер, 1900 г.).

Самый принцип гидротипной печати, т. е. перенос краски с окрашенного желатинового изображения на влаж-

ную бумагу, был открыт Кро, давшим ему имя гидротипии. Зангер-Шеперд (Sanger-Shepherd) в 1902 г. улучшил этот процесс, перенося краску на бумагу, покрытую тонким слоем мягкой желатины. Первым практически применимым способом цветной фотографии, основанным на гидротипном принципе, была пинатипия, разработанная Дидье (Dieder, 1903 г.) и Кенигом (König, 1905 г.).

При осуществлении любого гидротипного метода возникают следующие технические проблемы.

1. Необходимо обеспечить получение такого желатинового рельефа (матрицы), в котором соблюдалась бы строгая пропорциональность между количеством металлического серебра, находившегося в данном месте серебряного позитивного изображения, и толщиной рельефа или степенью набухания желатины в том же месте.

2. Необходимо, чтобы количество краски, впитанной матрицей, было пропорционально толщине или набуханию рельефа.

3. Необходимо, чтобы количество перенесенной на подложку краски было пропорционально ее количеству, находившемуся в данном месте матрицы.

4. Необходимо по возможности предотвратить диффузию красителя в стороны (расплывание), так как это вредит резкости изображения.

Хотя характеристическая кривая для процессов дублирования обладает очень большим прямолинейным участком, обеспечивая таким образом в широких пределах пропорциональную передачу, однако при получении рельефа на слоях, содержащих бромистое серебро, в области больших плотностей наблюдаются заметные отклонения от прямолинейности.

Для устранения этого недостатка в ряде способов (способы Кодака, Техникolor и др.) для улучшения градации используется ее зависимость от окраски слоя так, как это делается при получении контратипов. Это будет изложено далее при описании соответствующих способов.

Однако прямолинейная характеристика рельефного изображения еще отнюдь не обеспечивает пропорциональность переноса краски из матрицы на бумагу. Этот процесс зависит от всех трех элементов: матрицы, красителя и бумаги. Едва ли не самую важную роль здесь играет природа красителя и его физико-химическое состояние.

Применяемые для этой цели краски должны адсорбироваться хромированной задубленной желатиной, но удерживаться ею достаточно слабо, чтобы легко и полностью перейти потом в слой бумаги. Повидимому, лучше всего для этой цели подходят высокомолекулярные красители с малой скоростью диффузии.

Вопрос о поглощении красителей печатной матрицей и переносе их на бумагу является самым важным для всех гидротипных способов. К сожалению, научная разработка этой проблемы в доступной нам литературе почти полностью отсутствует.

Ценные результаты, полученные проф. А. И. Рабиновичем, изучающим в настоящее время эти вопросы в НИКФИ, позволяют пролить некоторый свет на эти весьма запутанные явления.

В зависимости от химической природы применяемых красителей процесс перехода краски с матрицы и окраски ею бумаги для переноса может весьма сильно различаться.

Кислые красители, переходя с матрицы, закрашивают слой равномерно по глубине, но с разной интенсивностью в зависимости от толщины рельефа матрицы. Субстантивные красители, напротив, диффундируют на различную глубину (по опытам Рабиновича от 4,5 до 18 μ), смотря по толщине матрицы.

Глубина проникновения красителя в слой бумаги для переноса не зависит ни от продолжительности окрашивания, ни от концентрации окрашивающей ванны, но возрастает с увеличением температуры переноса.

Наиболее важным результатом работы Рабиновича следует считать найденный им факт, что диффузия красителя из матрицы в большей степени протекает параллельно слою, т. е. в стороны (так называемая боковая диффузия), чем перпендикулярно поверхности слоя. По данным Рабиновича протяжение боковой диффузии в 4—5 раз превышает глубину проникновения красителя в слой. Такой своеобразный ход диффузионного процесса объясняется, вероятно, структурой высохшего желатинового слоя.

Явления боковой диффузии (расплывания) представляют собой самый большой недостаток гидротипных способов, часто препятствующий получению резких контуров и снижающий разрешающую способность.

С этим недостатком борются соответствующей обработкой желатинового слоя для переноса, задубливая его до некоторой степени или вводя в него вещества, действующие подобно протраве и связывающие краску. Уменьшает распывание также применение высокомолекулярных, тщательно очищенных красителей и повышение вязкости красящих растворов путем введения сахара, глицерина и т. п. веществ.

Все гидротипные способы, какой бы степенью совершенства они ни обладали, имеют одно важное преимущество — легкость получения копий. Приготовленная один раз матрица может затем долгое время служить для получения новых копий, подвергаясь каждый раз новой окраске.

Сравнительно просто достигается также в этих способах усиление или ослабление отдельных цветных изображений, дающее широкую возможность исправлений цветного баланса.

Теперь мы перейдем к описанию отдельных способов, имеющих в настоящее время наибольшее практическое значение.

2. ИСТМЕНОВСКИЙ СПОСОБ ВЫМЫВНОГО РЕЛЬЕФА

Этот способ является, без сомнения, наиболее разработанным из гидротипных методов цветной фотографии и эксплуатируется фирмой Истмен Кодак, выпускающей в продажу все необходимые материалы.

Для получения рельефной матрицы в этом способе используют дубящее отбеливание хромовокислыми солями. Задубливание желатины при отбеливании содержащегося в ней фотографического изображения с помощью хромовокислых солей было открыто Говардом Фармером в 1893 г.

Три цветоделенных негатива, полученные обычным образом, печатаются путем контакта или проекции на специальную позитивную пленку. Она состоит из позитивной бромистой эмульсии, окрашенной в желтый цвет и политой на тонкую прозрачную подложку. Пленка такого типа применяется в кинематографии для получения контратипов (дубльфильм).

Экспонированная пленка затем проявляется и отбеливается, причем желатина фотографической эмульсии задубливается в тех местах, где находилось серебряное изображение. После удаления растворимой желатины в горячей воде на подложке остается позитивное рельефное изображение из задубленной желатины.

Три рельефных изображения окрашиваются в пурпуровый, желтый и сине-зеленый цвет в водном растворе красок и переносятся на бумагу.

Негативы должны быть проявлены примерно до гаммы 0,8—1,2 и давать наилучшие результаты при печати на нормальной бромистой бумаге и проявлении в течение 2 мин. в нормальном амидоловом проявителе.

Печать производится со стороны подложки; по краям пленки следует оставить белые поля в 1,5—2 см шириной.

Для получения лучшей передачи тонов следует производить печать под фиолетовым фильтром, например, типа Реттен № 35 или таким, какой употребляется в контратипировании при печати на дубльфильм. В остальном процедура печати остается той же самой, что и для Карбро.

После печати все три пленки проявляются в энергичном метолгидрохиноновом проявителе с теми же предосторож-

ностями, что и цветоделенные негативы или бромистые отпечатки для Карбро. Проявление пленок обязательно должно быть полным, чтобы изображение было проявлено до самой подложки. В противном случае света (которые лежат у самой подложки) будут потеряны.

Проявленные пленки после краткого споласкивания переносятся в недубящий фиксаж (такого же состава, как и для Карбро-отпечатков). Отпечатки следует промывать в проточной воде в течение 10 мин. Слишком долгое промывание, особенно если вода очень мягкая или слегка щелочная, а также при повышенной температуре может вызвать излишнее набухание слоя и повлечь за собой потерю светов при дальнейших операциях. В этих случаях рекомендуется высушить пленки после промывания. Все три пленки должны промываться одновременно и одинаково.

После промывки пленки переносятся в отбеливающую ванну, состоящую из одной части раствора А, одной части раствора В и шести частей воды.

Раствор А. Двухромовокислого аммония	20 г
Серной кислоты химически чистой	4,0 см ³
Воды	до 1 л
Раствор В. Поваренной соли	45,0 г
Воды	до 1 л

Следует следить за одинаковым отбеливанием всех пленок. Отбеленное изображение имеет слабо коричневатый цвет.

Прямо из отбеливающей ванны пленки переносятся в горячую воду (43°). Проявление ведется в четырех сменах горячей воды по 1 мин. в каждой.

Оставшаяся слабо коричневая окраска изображения, хотя и не переходит на бумагу при гидротипном переносе, но мешает рассматриванию окрашенных матриц. Для ее удаления матрица погружается на 1 мин. в отбеливатель такого состава:

Раствор А. Перманганата	52,5 г
Воды	до 1 л
Раствор В. Серной кислоты (химически чистой)	32 см ³
Воды	до 1 л

Для употребления берут 1 часть раствора А, 2 части раствора В и 64 части воды.

После этого матрицу промывают 3 мин., переносят на 1 мин. в недубящий фиксаж и снова промывают 5 мин.

После промывки рельеф может быть задублин путем купания в 0,1 %-ном (по объему) растворе формалина в течение 5 мин. Такая обработка делает матрицу более прочной, если она подвергается после этого сушке.

Хотя промытые пленки могут быть окрашены непосредственно после промывки, но в этих условиях они дают более плотные и контрастные изображения, чем предварительно высушенные. Матрицы сушат в токе сухого нагретого воздуха.

Матрицы окрашиваются затем в водных растворах соответствующих красителей. Химический состав этих красителей не опубликован, и поэтому мы не останавливаемся на деталях процесса крашения, которые в сильной степени зависят от природы красителя.

Окраска ведется при постоянном покачивании кюветы в течение 30 мин., после чего избыток красителя с поверхности рельефа удаляется осторожным промыванием в разбавленной уксусной кислоте. Одновременно это прочнее удерживает краску в матрице.

Окрашенные матрицы могут быть затем сложены друг с другом для изучения. Способ допускает введение поправок: для увеличения контраста матрицу можно дополнительно окрасить в красящем растворе с добавкой уксусной кислоты; для уменьшения контраста удаляют краску с матрицы, промывая ее в 1%-ном растворе аммиака и снова окрашивают.

Осветление слишком сильно окрашенных матриц достигается осторожной промывкой в холодной воде в течение короткого времени.

Для гидротипной печати с окрашенных матриц подходят все сорта фотографической бумаги, кроме грубозернистых.

Бумага фиксируется сперва в недубящем фиксаже и промывается. Размер бумаги должен быть на 2—5 см больше, чем размер матрицы.

После промывки бумага купается в течение 5 мин. в протравляющем растворе, который составляется следующим образом:

Раствор А. Серноокислого алюминия	200 г
Воды	до 1 л

(Серноокислый алюминий может быть заменен калиевыми (алюминиевыми) квасцами в количестве 142,5 г.)

Раствор В. Сода кристаллической	100 г
Воды	до 1 л

Добавляют медленно раствор В к раствору А до растворения белого осадка.

После обработки в этом растворе бумага промывается в течение 5 мин. в проточной воде, переносится на 5 мин. в 5%-ный раствор уксуснокислого натрия и снова промыв-

вается 5 минут. После этого бумага может быть применена непосредственно или же предварительно высушена.

Мокрыю бумагу затем помещают слоем вверх на стекло. Для того чтобы избежать растяжения бумаги во время процесса переноса, что может привести к несовпадению контуров, ее предварительно подвергают сильному вытягиванию, которое выполняется следующим образом. На бумагу, лежащую на стекле, накладывают тонкий лист целлулоида (толщиной 0,075 мм) и сильно проводят по нему влажной резиновой линейкой вдоль и поперек, сильно прижимая ее к целлулоиду.

После этого бумагу кладут на лист фильтровальной бумаги и непосредственно приступают к переносу.

Так как все три краски дают прозрачные изображения, порядок их переноса безразличен. На практике, однако, переносят в таком порядке: пурпурная, сине-зеленая, желтая.

Соответствующая матрица вынимается из 0,1%-ного раствора уксусной кислоты, в которой сохранялись все матрицы после промывки, и кладется слоем на слой протравленной бумаги. С помощью легкого давления резиновой линейки сперва удаляют пузырьки воздуха и избыток раствора, а затем плотно притирают, после чего покрывают все стеклом для предотвращения испарения.

С красителями Кодака перенос длится от 10 до 30 мин. За его ходом следует наблюдать, поднимая осторожно время от времени уголок матрицы. Излишне долгий контакт может привести к расплыванию краски.

Сине-зеленую матрицу переносят аналогичным способом. Чтобы облегчить совмещение, между бумагой с перенесенным пурпурным изображением и матрицей кладут сперва влажный лист тонкого целлулоида, который после совмещения осторожно вытягивают, и матрицу притирают к бумаге.

Желтое изображение накладывается точно таким же образом, после чего готовое изображение отжимают между фильтровальной бумагой и быстро сушат.

Матрицы можно применять повторно много раз, окрашивая их каждый раз снова. Если от многократного употребления окраска матриц делается слишком плотной, их можно очистить в ванне такого состава:

Перманганата	2 г
Серной кислоты 10%-ный раствор	10 см ³
Воды	до 1 л

После этой ванны матрицы переносятся в 5%-ный раствор бисульфита и хорошо промываются.

3. СПОСОБ ТЕХНИКОЛОР

Этот способ, широко применяющийся для целей цветной кинематографии как в Америке, так и в СССР (киностудия Ленфильм), может быть легко применен для получения цветных изображений на бумаге.

Способ основан на принципе дубящего проявления, т. е. желатиновый вымывной рельеф, служащий гидротипной матрицей, получается при проявлении бромосеребряного слоя такими проявителями, продукты окисления которых дубят желатину.

Дубящее действие пирогаллово-аммиачного проявителя на проявленные места эмульсионного слоя было открыто Варнерке (Warnerke) в 1881 г. Этот принцип (с применением пирокатехинового проявителя безсульфита) в сочетании со специальными тонкими эмульсионными слоями с малым содержанием серебра был использован для цветной фотографии в способе Йоз-Пе (Jos-Pe), предложенном Коппманном (Коррманн) в 1922 г.

В способе ТехникOLOR печать с цветоделенных негативов ведется на специальную матричную пленку. В эмульсионном слое этой пленки отношение серебра к желатине должно быть малым. Применяется также окрашивание слоя в желтый цвет и печать через фиолетовый фильтр, как в способе Кодака.

Печать, как обычно во всех подобных процессах, производится со стороны целлулоидной подложки пленки.

Проявление (согласно патенту 1932 г.) ведется в течение 3,5 мин. при 18° в проявителе такого состава:

Пирогаллола	8	г
Бромистого калия	1,5	„
Едкого натра	3	„
Хлористого аммония	1,5	„
Лимонной кислоты	0,2	„
Воды	до 1	л

После проявления пленка переводится на 2 мин. в ванну с непрерывно циркулирующей водой при $\text{pH}=6,5$, после чего обрабатывается 1,5 мин. в 14%-ном растворе красной кровяной соли при $\text{pH}=3,7$. В этом растворе окисляется неиспользованный проявитель и удаляется образовавшееся при проявлении металлическое серебро. После полутораминутной промывки в воде при $\text{pH}=6,5$ пленка фиксируется в 25%-ном растворе гипосульфита (без кислоты) и проявляется в горячей воде при 54—55°.

Окраска и гидротипная печать с матриц ведется обычным способом.

В способе, разработанном Государственным оптическим институтом в Ленинграде и используемом в студии Лен-

фильм, применяют матричную пленку со следующими характеристиками: чувствительность — $5-10^\circ$, гамма — $1,5-2,0$, широта — не менее $1:10$, вуаль — не более $0,20$, температура плавления слоя — $35-40^\circ$, толщина основы — $0,12-0,14$ мм. Проявление ведется в проявителе такого состава:

Раствор А. Пирогаллола	6 г
Сульфита кристаллического	6 „
Бромистого калия	2 „
Воды	до 1 л
Раствор В. Поташа	100 г
Воды	до 1 л

Для проявления смешивают 1 часть раствора А и 1 часть раствора В.

Проявление ведут при $18-20^\circ$ в течение $6-8$ мин. Проявление останавливают ванной из 1%-ной уксусной кислоты или же обильным споласкиванием водой.

Проявление матрицы ведут в воде при $38-40^\circ$, после чего удаляют серебро в перманганатном отбеливателе и фиксируют в кислом фиксаже.

Промытые и высушенные матрицы окрашиваются в следующих ваннах:

Желтая ванна

Тартрацина	40 г
Уксусной кислоты	30 см ³
Воды	до 1 л
Время окрашивания	1,5—2 мин.

Пурпурная ванна

Азофуксина	2 г
Уксусной кислоты	10 см ³
Воды	до 1 л
Время окрашивания	3—4 мин.

Голубая ванна

Фильмблау (или ксиленовая голубая)	4 г
Уксусной кислоты	10 см ³
Воды	до 1 л
Время окрашивания	3—4 мин.

Для предотвращения расплывания краски при переносе на бумагу желатиновый слой последней должен быть соответствующим образом обработан.

В способе Техниколор это достигается задубливанием желатины смесью бихромата с сульфитом в присутствии аммиака. При сушке аммиак удаляется и слой дубится.

В методе ГОИ бумага для этой же цели обрабатывается в течение 5 мин. в 0,5%-ном растворе хромовых квасцов и сушится.

Для облегчения ровного смачивания при переносе бумага перед переносом размачивается 15—25 сек. в растворе:

Сапонина	0,5 г
Уксусной кислоты	10 см ³
Воды	до 1 л

Полнота перехода краски из матрицы на бумагу облегчается тем, что слой матрицы в 5—6 раз тоньше слоя бумаги.

В последнее время часто применяют комбинацию способов дубящего проявления и дубящего отбеливания. Серебряное изображение, полученное после проявления в дубящем проявителе, отбеливается в дубящем хромовом отбеливателе, а затем подвергается обработке в горячей воде. При этом рельеф получает дополнительное задубливание, что должно улучшать передачу светов. Однако этот метод еще мало проверен на практике.

4. СПОСОБ ДАЙБРО

Для получения рельефной матрицы для гидротипной печати можно применить способ контактного отбеливания, используемый в способе Карбро. На этом принципе основан способ Дайбро (Dyebro), предложенный Уилером (Wheeler) в 1928 г.

Три цветоделенных позитива приводятся в контакт со специальной пигментной бумагой для Дайбро, очувствленной в тех же растворах, что применяются и для Карбро. Бумага Дайбро состоит из толстого слоя желатины, политого на бумажную подложку. Желатиновый слой не окрашен, но содержит небольшое количество серой краски, добавляемой исключительно с той целью, чтобы легче было следить за ходом проявления.

Цветоделенные позитивы изготавливаются точно так же, как и для способа Карбро, с тем только отличием, что они должны быть зеркально обращенными.

Очувствление Дайбро-бумаги может быть произведено в любом из растворов, рекомендованных для Карбро. Сам изобретатель процесса рекомендует пользоваться комбинированной ванной по Ньюенсу, состав которой приведен в главе VII.

Операции очувствления и притирания к бромистому отпечатку выполняются точно таким же образом, как и для Карбро.

Снятую с отпечатка бумагу притирают к целлулоиду, поверхность которого вошить не следует. Так как бумага Дайбро не различается по цвету, необходимо на целлулоидах сделать какие-нибудь отметки для указания, в какой краске следует затем окрашивать матрицу. Целлулоид для этого лучше выбирать более тонкий, чем для Карбро. Удобно применять для этой цели рентгеновскую пленку, с которой тщательно смыта вся эмульсия.

После того как целлулоиды с перенесенным пигментом проявлены в горячей воде, их споласкивают и желатиновый рельеф дубят в 5%-ном растворе формалина. После этого матрицу тщательно промывают в холодной проточной воде для удаления всех следов формалина, так как в противном случае перенос краски на подложку будет затруднен. Матрицы после высушивания готовы для окрашивания.

Окраска ведется в растворе красителей, специально выпускаемых для этих целей. По всей вероятности, для этого могут быть с успехом применены кислые субстантивные красители, применяемые для крашения шерсти. Перенос краски с матрицы на желатинированную бумагу путем гидротипной печати производится точно таким же способом, как и для прочих гидротипных методов.

Как видно, способ Дайбро представляет собой комбинацию способа Карбро с гидротипной печатью.

Насколько нам известно, способ Дайбро у нас в Союзе не применялся сколько-нибудь широко и поэтому в нашем распоряжении отсутствуют опытные данные о его практической ценности. Можно полагать, что способ этот, соединяя в себе хорошо изученный способ Карбро с преимуществами гидротипной печати, заслуживает большего внимания и изучения.

5. СПОСОБ ПИНАТИПИИ. СПОСОБ МЕРШИНА

Способ пинатипии, который был первым практическим осуществлением принципа гидротипии, ныне применяется сравнительно редко, будучи вытесненным более совершенными методами. Однако принципиальные основы пинатипии используются еще и теперь в ряде процессов, среди которых в первую очередь нужно назвать способ советского изобретателя Мершина, используемый по преимуществу в цветной кинематографии.

Принцип метода заключается в том, что цветоделенное изображение копируется путем контакта на светочувствительный слой хромированной желатины. После этого слой окрашивается красками, которые впитываются набухшими незадубленными местами и почти не окрашивают задубленные части слоя. Окрашенное таким путем изображение служит матрицей для гидротипной печати.

Для приготовления печатных матриц с цветоделенных негативов изготовляют, обычно, путем проекционной печати диапозитивы, которые должны быть достаточно прозрачными и нежными, так как процесс пинатипии склонен увеличивать контраст изображения.

С цветоделенных позитивов печатают путем контакта на стеклянные пластинки, покрытые слоем хромированной

желатины. Такие пластинки можно приготовить, поливая чистые стеклянные пластинки 5%-ным раствором твердой желатины из расчета примерно 5 см³ на 100 см² площади пластинки. После высыхания их очувствляют купанием в 2—5%-ном растворе двуххромовокислого аммония (в течение 3—5 мин.) и сушат. Для этой же цели можно применять отфиксированные и промытые незасвеченные фото-пластинки.

После печати пластинки промываются для удаления избытка бихромата и могут быть непосредственно вслед за этим окрашены в водном растворе соответствующего красителя.

Фирма Агфа выпускает для этой цели специальные пинатипные краски, которые могут быть заменены (по Уоллу) следующими: для красной матрицы — 0,4%-ный раствор натурального кармина с добавлением небольшого количества аммиака до растворения; для синей матрицы — 3%-ный раствор патент-блау (ксиленовая голубая); для желтой матрицы — 3%-ный раствор тиюфлавина Т или нафтоловой желтой с добавлением нескольких капель уксусной кислоты.

Гидротипная печать ведется обычным способом на желатинированную бумагу без протравы.

Для повышения прочности красок готовое цветное изображение погружают на 3—5 мин. в закрепляющий раствор:

Хромовых квасцов	2 г
Сернокислой меди	2 "
Воды	до 100 см ³

Принцип пинатипии — окрашивание рельефа набухания — может быть применен и для тех случаев, в которых рельеф получается другим способом.

Так например, в методе бромопинатипии рельефное изображение получается при отбеливании позитивного серебряного изображения в отбеливателе такого состава:

Сернокислой меди	30 г
Бромистого калия	12 "
Хромовой кислоты	2 "
Воды	до 1 л

Рельеф набухания, полученный в результате отбеливания, окрашивается пинатипными красками и служит печатной матрицей.

Близок к пинатипии способ, предложенный Мершиным (авт. свид. № 215), применяемый главным образом в цветном кино. В способе Мершина на одну сторону матричной пленки полита бромосеребряная позитивная эмульсия типа

„дубль“, а на другую — 8%-ный раствор желатины, содержащий 1% красного красителя „прямой алый С“.

На эмульсионную сторону этой пленки производится печать с цветоделенного позитива. После проявления, фиксирования и промывки на ней получается дубликат негатива (контратип).

Желатиновый слой, находящийся на задней стороне матричной пленки, очувствуется в 3%-ном растворе двухромовокислого аммония с добавкой небольшого количества аммиака.

После высушивания происходит копировка через эмульсионный слой, несущий черно-белое серебряное изображение.

Откопированное изображение проявляется в горячей воде (45—50° С), причем незадубленная желатина удаляется и на матрице остается вымывной рельеф. После удаления содержащегося в слое красного красителя в подкисленном растворе перманганата матрица высушивается и подвергается окрашиванию в 1%-ном растворе субстантивного красителя.

Для крашения могут быть применены следующие красители: синий прямой чисто голубой (Анилтрест); красный — бензо-прочный розовый 2БЛ (Анилтрест); желтый — тиазоловая желтая.

Хорошие результаты дают также следующие красящие ванны:

Для синего: авил чисто голубой FF	0,5%
гвинея зеленая В	0,5%

Для красного: прямой розовый С	1%
лимонной кислоты	0,1%

Для желтого: сульфон желтый	1%
лимонной кислоты	0,1%

Перенос на бумагу или бланкфильм (отфиксированная и промытая позитивная пленка типа 3-А, задубленная предварительно в 2%-ном растворе хромовых квасцов) совершается в таком порядке: желтый — синий — красный.

Существеннейшим недостатком способа пинатипии и родственных ему способов является низкая светочувствительность хромированной желатины. Это требует применения сильных актиничных источников света при копировании (ртутные лампы) и, что особенно важно для фотографии, вынуждает для получения отпечатков больших форматов прибегать к получению увеличенных дубликатов негатива.

Само прокрашивание рельефа из задубленной хромированной желатины сопряжено с весьма большими трудностями.

6. СПОСОБ ДУКСОХРОМ

Этот способ, разработанный фирмой Герцог (Herzog) в 1929 г., не относится к числу методов, использующих гидротипную печать для переноса изображения на бумагу.

В этом методе используется вымывной рельеф, полученный в результате дубящего проявления бромосеребряного желатинового слоя. В этом отношении способ сходен с кодаковским, но отличается от последнего тем, что бромосеребряный слой содержит пигментный краситель надлежащего цвета и таким образом после вымывания рельефа в горячей воде на прозрачной целлулоидной подложке остается окрашенное позитивное изображение. Три таких изображения переносятся друг на друга на подложку.

Материал для печати по способу Дуксохром представляет собой тонкие целлулоидные пленки, покрытые бромосеребряной эмульсией, содержащей соответствующий субтрактивный краситель в виде тонко растертого пигмента или (в последних выпусках) в виде субстантивной прозрачной краски. Эти пленки, если они предназначены для переноса изображения на бумагу, должны храниться при температуре около 27° для того, чтобы предотвратить отставание эмульсии от целлулоида.

Печать с цветоделенных негативов производится с целлулоидной стороны пленки, причем края последней должны быть прикрыты маской. Так как введение красителя в эмульсию изменяет ее чувствительность, то время выдержки при печати должно быть подобрано соответствующим образом.

Экспонированные пленки затем проявляются все вместе в специальном дубящем проявителе в течение 4—6 мин. Изображение появляется со стороны целлулоида и его вид не имеет никакого значения.

После проявления пленки сразу же переносятся в фиксационную ванну такого состава:

Гипосульфита	190 г
Метабисульфита	22 „
Воды	до 1 л

После фиксирования, пленки промываются несколько минут в проточной воде и переносятся в горячую воду при $49—50^{\circ}\text{C}$. Здесь незадубленная желатина растворяется, оставляя рельефное окрашенное изображение.

Металлическое серебро, оставшееся в изображении, полностью удаляется с помощью фармеровского ослабителя, и пленки тщательно промываются.

Красное и желтое изображения обрабатываются теперь в течение 20—30 сек. в 0,2%-ном растворе перманганата и затем осветляются в ванне:

Гипосульфита	50 г
Метабисульфита	50 "
Воды	до 1 л

После этого все три пленки, включая и синюю, погружаются на 5 мин. в закрепляющую ванну:

Сернокислой меди	2 г
Уксусной кислоты ледяной	3,5 см ³
Воды	до 500 "

В качестве бумаги для переноса можно применить любую полуматовую фотобумагу, отфиксированную (но не экспонированную).

Перенос цветных позитивов на эту подложку совершается точно так же, как и в способе Карбро, с тем только отличием, что перед сушкой целлулоид с изображением выдерживается в контакте с бумагой под прессом при довольно сильном давлении. Перенос производят в таком порядке: желтое, красное и синее изображения.

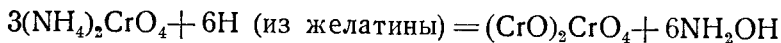
Способ Дуксохром в Америке распространяется под названием Колорстил (Colorstil).

ПИГМЕНТНЫЕ СПОСОБЫ

I. МЕХАНИЗМ ДЕЙСТВИЯ СВЕТА НА ХРОМИРОВАННУЮ ЖЕЛАТИНУ

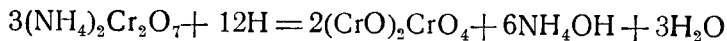
Действие света на хромированную желатину, приводящее к ее задубливанию, является результатом двух реакций: восстановления хромовокислых солей до окиси хрома и последующего дубления желатины образовавшимися хромовыми солями. Только первая из этих реакций является фотохимической и требует участия света.

Эта реакция сводится к восстановлению солей хромовой кислоты (например, хромовокислого аммония) активным водородом, отщепляющимся от молекулы желатины под действием света. Реакция, согласно Эггерту и Бильтцу, идет по такой схеме:



Квантовый выход этой реакции, т. е. отношение числа молекул, подвергшихся превращению, к числу поглощенных квантов света составляет в расчете на хромат 0,5 (для длины волны в 436 мμ). Другими словами, для превращения одной молекулы хромовокислого аммония в хромихромат $(\text{CrO})_2\text{CrO}_4$ затрачиваются 2 кванта поглощенного света. Для сравнения напомним, что квантовый выход при фотохимическом распаде бромистого серебра близок к единице.

При применении бихромата вместо хромата реакция идет совершенно аналогично:



При замене аммонийной соли на калиевую самый механизм реакции не меняется, но большая устойчивость хромата калия приводит к тому, что желатиновые соли, содержащие бихромат калия, оказываются менее чувствительными к свету, чем в случае бихромата аммония.

Образующийся в результате этой реакции хромихромат оказывает на желатину дубящее действие, превращая ее в соединение, неспособное набухать или растворяться в горячей воде. Поскольку целью светового воздействия на хромированную желатину является получение именно такого задубленного продукта, светочувствительность нашей системы следует характеризовать не количеством образовавшегося хромихромата, а количеством задубленной желатины.

Последняя величина в сильной степени зависит от того, какое из свойств желатины мы избираем для характеристики задубленности. Для этого мы можем воспользоваться либо различием в степени набухания между задубленной и незадубленной желатиной (рельеф набухания), либо различием их точек плавления или скоростей растворения в теплой воде (рельеф вымывания), либо различием в способности к окрашиванию в водных растворах красителей.

Бильтц и Эггерт в своих исследованиях о квантовом выходе хромированной желатины применяли в качестве характеристики степени задубливания определение степени набухаемости желатины. Они установили, что квантовый выход реакции в расчете на желатину, переведенную в ненабухающее состояние, составляет примерно 0,3, т. е. для задубливания трех молекул желатины требуется 10 квантов. Эта величина является лишь приблизительной как вследствие трудности и ненадежности определения количества задубленной желатины, так и в виду неопределенности значения ее молекулярного веса.

Элод и Берцелли (Elöd und Berczelli) определяли светочувствительность хромированной желатины, пользуясь способом растворения (вымывной рельеф).

Бучек (Ваусек), а также Бекунов (НИКФИ) характеризовали дубление желатины по ее способности к прокрашиванию. Поэтому все названные исследователи приходили к несколько отличным друг от друга результатам.

2. ДУБЛЕНИЕ ЖЕЛАТИНЫ

Как мы уже указывали выше, самый процесс дубления желатины образовавшимся под действием света хромихроматом не является фотохимическим. Поэтому, как показали Элод и Берцелли, желатина не оказывает влияния на выход фотохимической реакции, и различия в светочувствительности, наблюдающиеся при применении различных желатин, целиком обусловлены различиями в их способности к задубливаю.

Процесс дубления в общих чертах может быть охарактеризован как гидрофобизация и коагуляция белка. Дуби-

тель (в нашем случае соединения трехвалентного хрома), воздействуя на гидрофильные группы желатины ($\text{NH}_2\text{—COOH}$ и др.), обуславливающие связь желатиновой молекулы (мицеллы) с водой, вызывает этим понижение набухаемости, растворимости и способности адсорбировать красители из водных растворов.

Различие в поведении разных сортов желатины при дублении объясняется, по Элоду и Берцелли, различием в степени гидролитического расщепления и дезагрегации мицелл. Поэтому для характеристики способности желатины к задубливанию нужен метод, который давал бы возможность непосредственно определять степень дезагрегации желатины. В. А. Бекунов (НИКФИ, 1937 г.) предложил для этой цели метод определения так называемого „числа хромовых квасцов“, разработанный Руссело (Rousselot). Этот способ состоит в определении числа кубических сантиметров 5%-ного раствора хромовых квасцов (фиолетовая модификация), необходимых для коагуляции 10 г желатины в 10%-ном растворе при 50°C .

Такой метод является чрезвычайно полезным для оценки способности желатины к дублению и поэтому должен применяться во всех тех случаях, где это свойство желатины имеет решающее значение.

Метод определения состоит в следующем:

5 г химически чистых хромокалиевых квасцов растворяют в дистиллированной воде и доводят объем раствора до 100 см^3 . Допустимо только непродолжительное нагревание до температуры не выше 50° .

10 г испытуемой желатины заставляют набухнуть в 90 см^3 воды при 10° в течение часа и растворяют при 50° .

К полученному раствору (или к его аликвотной части), поддерживая температуру в $50 \pm 1^\circ$, добавляют из бюретки с постоянной скоростью раствор квасцов при непрерывном и равномерном размешивании. Добавление квасцов ведется до тех пор, пока желатина не начнет тянуться тонкой нитью за стеклянной палочкой, служащей для перемешивания. Количество пошедшего раствора квасцов в пересчете на 100 см^3 желатинового раствора и дает искомое число хромовых квасцов.

Работы Бекунова показали хорошее согласие между числами хромовых квасцов для различных желатин и их светочувствительностями, определенными по способу окрашивания. При этом с возрастанием числа хромовых квасцов чувствительность уменьшается.

Опыты, проведенные в лаборатории цветного кино Мосфильма при работе по способу Мершина, показали с полной очевидностью, что чем меньше число хромовых квасцов, тем чище светлые места изображения.

Хотя задубливание желатины зависит от рН, светочувствительность желатины (определенная по способу окрашивания), по данным Бекунова, практически не зависит от рН раствора.

Катион применяемой хромовокислой соли оказывает определенное влияние на светочувствительность желатины. Так, бихромат (и даже хромат) аммония сообщает желатине гораздо большую светочувствительность, чем бихромат калия. Бихроматы органических оснований, как например пиридина, дают еще большую светочувствительность. Однако применение бихромата пиридина ухудшает сохраняемость пигментной бумаги.

Реакция восстановления бихромата желатиной протекает и в отсутствии света, но со значительно меньшей скоростью. В результате этого хромированная желатина задубливается и в темноте, что является причиной образования вуали на очувствленных пигментных бумагах. Элод и Берцелли показали, что такое темновое задубливание увеличивается с уменьшением числа хромовых квасцов.

Эта темновая реакция, протекающая при хранении очувствленного пигментного слоя, облегчает последующее задубливание желатины на свету и тем повышает ее светочувствительность.

3. СЕНСИТОМЕТРИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ХРОМИРОВАННОЙ ЖЕЛАТИНЫ

Характеристическая кривая слоев хромированной желатины представляет собой почти прямую линию с угловым коэффициентом, равным приблизительно единице (рис. 102). Криволинейная область недодержек, являющаяся характерной для галоидосеребряных слоев, в этом случае почти отсутствует. Эти свойства изображения на хромированной желатине особенно ценны для цветной фотографии, где пропорциональность передачи тонов играет исключительно важную роль.

Исследования Рихтера показали, что для хромированной желатины закон взаимозаменяемости (закон Бунзена - Роско) не соблюдается. Величина показателя Шварцшильда в этом случае в отличие от бромосеребряных слоев больше единицы и равна по Рихтеру 1,24.

Чувствительность хромированной желатины в единицах инерции (в системе Хертера - Дриффильда) по данным Гарди и Перрена (Hardy and Perrin) примерно в 4×10^6 раз меньше, чем негативных бромосеребряных слоев и соответствует значению инерции около 6×10^4 секундо - метро - свечей.

Зависимость светочувствительности от концентрации бихромата, изученная Гарди, Перреном и Бучеком, вероят-

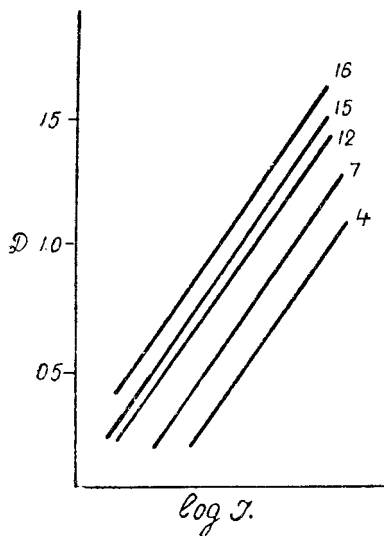


Рис. 102. Характеристические кривые для хромированной желатины
Цифры при кривых дают значения $I. t.$

Хранение очувствленного слоя, как мы уже выше указывали, повышает его светочувствительность (уменьшает инерцию). На рис. 104 показано влияние хранения слоя как между очувствлением и освещением (кривая А), так и между освещением и проявлением (кривая В).

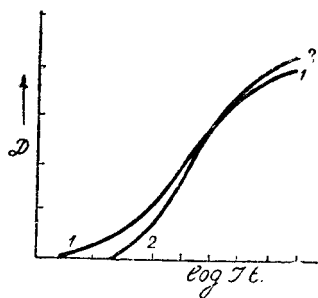


Рис. 103. Влияние концентрации бихромата на градацию хромированной желатины

Концентрации бихромата для кривых 1 и 2 относятся как 2:1.

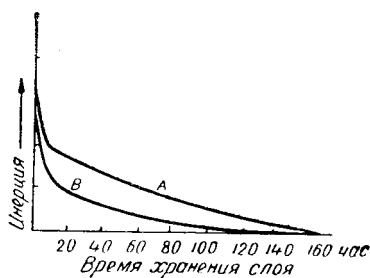


Рис. 104. Влияние хранения на чувствительность хромированной желатины

Такое усиление „скрытого изображения“ при выдерживании экспонированных слоев хромированной желатины весьма значительно и находит себе практическое применение. По данным Бекунова, это усиление значительно ускоряется при повышении температуры.

Условия образования при освещении хромированного желатинового слоя влекут за собой то, что условия вызывания рельефа (температура воды, продолжительность проявления и т. п.) оказывают большое влияние на сенситометрические характеристики слоя. На рис. 105 показано влияние продолжительности проявления в горячей воде на величину инерции при разных температурах проявления.

Как видно, повышение температуры при постоянном времени проявления влечет за собой уменьшение чувствительности (увеличение инерции). Гамма при этом не меняется.

Так как в ряде методов освещению подвергается слой, содержащий краситель, то следует обсудить влияние, которое он может оказать на свойства слоя.

Краситель, содержащийся в слое хромированной желатины, ослабляет свет, проникающий внутрь слоя, и тем уменьшает дублирование. Это действие проявляется тем сильнее, чем на большую глубину проникает свет, т. е. чем сильнее освещение. Поэтому эффект красителя очень

незначителен при малых освещенностях и сказывается не в изменении чувствительности, а в уменьшении контраста. При этом ширина слоя (величина прямолинейного участка) увеличивается, что имеет большое практическое значение. Естественно, что такое влияние красителя будет зависеть от степени поглощения им активных синих лучей и будет больше всего для желтых пигментов и значительно меньше — для синих.

4. ПИГМЕНТНЫЕ ПРОЦЕССЫ. МАСЛЯНЫЙ СПОСОБ

Многочисленные варианты пигментного процесса, широко применяемого для художественной печати, описаны с достаточной полнотой в книге П. В. Клепикова. В настоящее время они весьма редко применяются для цветной фотографии, имея в этом отношении больше исторический интерес.

Техника работы по этому способу в основных чертах состоит в следующем. Пигментную бумагу очувствляют в растворе, состоящем из бихромата калия или аммония, обычно с прибавлением небольшого количества аммиака и иногда спирта. После очувствления пигментную бумагу сушат при неактивном свете. Операция сушки составляет весьма важную и ответственную часть процесса.

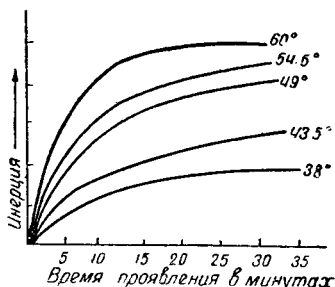


Рис. 105. Влияние температуры и продолжительности проявления на чувствительность хромированной желатины

Копирование ведут в контакте при рассеянном дневном или сильном искусственном свете, богатом синими лучами (вольтовые дуги, ртутные лампы и т. п.).

Крайне низкая чувствительность пигментного слоя не дает возможности получать увеличения с помощью проекционной печати. Для получения изображений большого формата приходится прибегать к контактной печати с увеличенных дубликатов негатива, что вызывает значительные неудобства.

После экспонирования пигментную бумагу притирают к покрытому слоем воска листу целлулоида, на котором и ведут проявление в горячей воде. Температура воды и продолжительность проявления имеют большое влияние на силу получающегося изображения. Полученные цветные позитивы собираются на временной растворимой подложке и затем переносятся на постоянную.

Вариант пигментного трехцветного способа, известный под именем Бельколор, пользуется и ныне распространением, главным образом в полиграфии, где им пользуются для изготовления пробных цветных изображений, необходимых для контроля при выкрывании клише.

Материал для способа Бельколор (выпущенный в 1925 г.) состоит из листов тонкого целлулоида, покрытых тонким слоем окрашенной желатины. Пленки Бельколор бывают как обычных трех субтрактивных цветов: красного, желтого и синего, так и других (черного и т. д.).

Эти пленки очувствляются в растворе бихромата и печатаются контактом через заднюю сторону подложки. После проявления полученные цветные изображения без всякого переноса складываются друг с другом в точном совпадении и дают прекрасный цветной диапозитив, вполне удовлетворяющий требованиям для контрольного изображения в полиграфии.

В последнее время фирма Мерфи, эксплуатирующая этот способ, выпустила пленки Бельколор, в которых желатиновое цветное изображение может быть отделено от целлулоидной подложки и перенесено на бумагу.

Масляный процесс, введенный в практику Роулинсом (Rawlins) в 1904 г., основан на том, что жирная краска не пристает к набухшим частям желатинового изображения и, наоборот, удерживается на задубленных. После освещения пигментного слоя под негативом, на нем вызывают рельеф набухания путем обработки в теплой воде. Удалив с поверхности изображения избыток влаги, накатывают на него с помощью ролика (или наносят кистью) жирную краску (типа литографской). Окрашенное таким путем изображение служит матрицей для переноса краски на бумагу.

Для цветной фотографии трехцветный масляный процесс употребляется крайне редко.

Различие в способности прокрашивания в растворах красителей, которое имеет место между задубленной и незадубленной желатиной, чаще всего используется в способах, основанных на светочувствительности хромированной желатины. Поскольку во всех этих способах (пинатипия, способ Мершина и др.) применяется перенос красителя на подложку с помощью гидротипной печати, эти методы были изложены вместе с прочими гидротипными способами.

ГЛАВА X

ВИРАЖНЫЕ СПОСОБЫ

1. ТРЕХЦВЕТНЫЙ ВИРАЖНЫЙ СПОСОБ „ХРОМАТОН“

Из способов, которыми пользуются в субтрактивной цветной фотографии для перевода серебряного позитивного изображения в окрашенное, едва ли не самым простым является виражный метод, существующий в ряде вариантов.

Принцип этого метода состоит в замещении металлического серебра цветоделенного позитива на окрашенное в соответствующий цвет соединение путем вирирования (тонирования). Метод применим как для трехцветного, так и для двуцветного способов, но наиболее широко употребляется при двуцветном способе вследствие своей простоты и удобства.

Из трехцветных виражных способов наилучше разработанным и имеющим наиболее широкое применение является способ Хроматон, предложенный Снайдером и Римбахом (Snyder und Rimbach).

В настоящее время способ изготовления всех необходимых материалов и реактивов полностью разработан в СССР в Научно-исследовательской лаборатории Главфотопрома (В. А. Яштолд-Говорко и Н. С. Всеволожский), в Оптическом институте в Ленинграде (И. А. Черный и др.) и Киевском институте кинематографии (А. М. Балл). В ближайшее время они намечены к выпуску.

Мы опишем здесь несколько видоизмененную технику работы по способу Хроматон, так как она была разработана применительно к советским материалам в научно-исследовательской лаборатории Главфотопрома.

Для получения цветных изображений по этому способу пригодны цветоделенные негативы, полученные по любому из методов, описанных в главах IV и V. Наличие контрольной шкалы на негативах — обязательно.

Для улучшения цветопередачи, в особенности для зеленых и красных тонов, можно пользоваться методом масок. Фирма Дефендер рекомендует для этого следующую процедуру.

С красного цветоделенного негатива готовят путем контакта три диапозитива на тонкой позитивной пленке. Контраст этих диапозитивов должен составлять $\frac{1}{3}$ от контраста негатива. При применении этого метода цветоделенные негативы должны быть проявлены примерно на 33% дольше, чем обычно.

Каждая из этих масок складывается в точном совпадении с цветоделенным негативом и закрепляется в этом положении. Для печати применяют комбинацию маски с негативом.

Для проявления масок рекомендуется следующий проявитель:

Метол	1,6 г
Сульфит безводный	80 "
Гидрохинон	4,1 "
Буры	1,6 "
Воды	до 1 л

С негативов или комбинаций с масками путем проекционной печати получают цветоделенные негативы на специальном позитивном материале — так называемой фото-пленке со съёмным слоем.

Такая пленка представляет собой обычную позитивную эмульсию, нанесенную на целлулоид, предварительно покрытый тончайшим слоем каучука. Наличие такого подслоя позволяет после высыхания отделить эмульсионный слой с отвирированным изображением от целлулоидной подложки.

Полученные таким образом в виде тонких желатиновых пленок три окрашенных изображения могут быть легко склеены друг с другом, давая готовое цветное изображение.

Сенситометрические характеристики такой пленки (производства НИКФИ) следующие (при проявлении в проявителе № 2).

Светочувствительность	Гамма для 2 мин. проявления	Максимальная плотность для 2 мин. проявления	Вуаль при 2 мин. проявления
25 — 35	1,2 — 1,35	1,6 — 1,8	0,04

Цветовой баланс окончательного изображения зависит от тщательности изготовления черно-белых позитивов. Совершенно необходимо строго контролировать все условия

получения позитивов (выдержка, условия проявления и т. п.). При печати следует соблюдать в общем те же правила, что и при изготовлении позитивов для Карбро-процесса.

При установлении выдержки нужно иметь в виду, что выщелачивание несколько изменяет относительную силу черно-белых позитивов. Поэтому прибегают к следующей процедуре.

Устанавливают путем проб время выдержки, необходимое для получения правильного отпечатка с зеленого негатива (пурпурный позитив). Требования к правильному отпечатку те же, что и для Карбро.

Затем, исходя из найденной выдержки для зеленого негатива, определяют выдержку, необходимую для того, чтобы отпечатки контрольных серых шкал со всех трех негативов были совершенно одинаковы.

Печать с зеленого негатива ведут с установленной ранее выдержкой. При печати с синего негатива (желтый позитив) увеличивают время выдержки на 25% против времени, требующегося для уравнивания плотности серой шкалы с пурпурным отпечатком. Выдержка для сине-зеленого негатива (с красного негатива) увеличивается на 15%.

Проявление позитивов ведется в проявителе № 2.

Метол	0,75 г
Сульфита безводного	11,5 "
Гидрохинона	6,25 "
Соли безводной	11,25 "
Бромистого калия	1,4 "
Воды	до 1 л

Проявление ведется в неразбавленном проявителе в течение 1,5—2 мин. при 18°.

Все три отпечатка проявляются одновременно в достаточном количестве проявителя. При больших форматах можно проявлять один отпечаток за другим, строго следя за абсолютной одинаковостью всех условий проявления. Ни в коем случае не следует пользоваться истощенным проявителем.

Если негативы слишком контрастны, то проявление отпечатков следует вести в проявителе № 3.

Метол	3 г
Сульфита безводного	36 "
Соли безводной	18 "
Бромистого калия	4 "
Воды	до 1 л

При употреблении разводят тремя частями воды.

Продолжительность проявления 3—4 мин.

При печати с вялых негативов проявляют в проявителе № 4, состоящем из двух запасных растворов:

I. Гидрохинона	45 г
Сульфита безводного	30 "
Серной кислоты	4 см ³
Воды	до 1 л
II. Сода безводной	120 г
Бромистого калия	8 "
Сульфита безводного	90 "

Для употребления смешивают равные части I и II растворов и проявляют в течение 5 минут.

Если вследствие неправильного проявления цветоделенных негативов серые шкалы на них будут обладать неодинаковым контрастом, то этот недостаток можно исправить до известной степени, применяя для проявления отпечатка с более мягкого негатива (обыкновенно синего) проявитель № 4 или же проявляя остальные два отпечатка в более мягком проявителе № 3.

После проявления отпечатки рекомендуется перенести в останавливающую ванну из 5%-ной уксусной кислоты и затем в кислый фиксаж такого состава:

Гипосульфита	150 г
Метабисульфита	25 "
Воды	до 1 л

Фиксирование должно быть полным.

После фиксирования следует тщательная промывка в проточной воде в течение не менее 20 минут.

2. ТЕХНИКА ВИРИРОВАНИЯ В СПОСОБЕ ХРОМАТОН

Следующим этапом работы является вирирование полученных черно-белых отпечатков. При вирировании необходимо следующее.

Соблюдать абсолютную чистоту и аккуратность при всех операциях, избегая загрязнения растворов брызгами, грязными пальцами, нечистыми кюветами и т. п. Применять стеклянные или фарфоровые кюветы с неповрежденной глазурью. Ни в коем случае не пользоваться железными кюветами с поврежденной эмалью. Перед каждой операцией мыть руки.

Покачивать кюветы с отпечатками во все время операции отбеливания и вирирования.

Тщательно вести промежуточную промывку в тех случаях, когда это указано.

Все процессы проводить при температуре 18—20°.

В тех местностях, где водопроводная вода слишком жестка или имеет щелочную реакцию, промывки между операциями следует вести только в дистиллированной воде.

Для приготовления виражных растворов пользоваться только дистиллированной водой.

Вирирование в красный цвет. Отбеливание черно-белого позитива производится в „отбеливателе Кр-С“, которого берут для размера 13×18 см $75 - 100$ см³. К этому раствору добавляют $15 - 20$ см³ 15%-ного раствора красной кровяной соли, после чего только данный раствор приобретает отбеливающие свойства.

Продолжительность отбеливания — 10 минут.

Отбеливающий раствор с красной кровяной солью не стоек и сохраняется около часа. После одновременной обработки в 100 см³ 10 позитивов раствор приходит в негодность и выливается.

После отбеливания следует промывка до полного исчезновения желтизны. В проточной воде промывка заканчивается в среднем через 10 минут.

Состав „отбеливателя Кр-С“ следующий:

Азотнокислого никеля	40 г
Лимониокислого калия	300 „
Лимонной кислоты	20 „
Формалина 10%-ного	100 см ³
Воды	до 1000 см ³

В этом растворе в результате реакции между красной кровяной солью и металлическим серебром изображения в присутствии азотнокислого никеля образуется железисто-синеродистая соль никеля состава: $\text{Ni}_2\text{Fe}(\text{CN})_6$, которая, будучи нерастворима в воде, остается в слое, образуя отбеленное изображение.

Добавление лимоннокислой соли и лимонной кислоты имеет целью предотвратить выпадение осадка железосинеродистого никеля путем образования комплексной соли. Назначением формалина, вводимого в раствор, является устранение размягчающего действия, которое оказывают на желатину эмульсионного слоя лимоннокислые соли.

Отбеленный и тщательно промытый позитив обрабатывается для осветления $1,5 - 2$ мин. в 2%-ном растворе гипосульфита. После осветления следует промывка в проточной воде около 5 минут. Затем отпечаток вирируется около 10 минут в растворе „красный вираж“, которого надо брать 75 см³ для позитива 13×18 см.

Перед вирированием в раствор необходимо добавить 3—4 капли 25%-ного аммиака.

Вирирующий раствор можно употреблять повторно 2—3 раза. После вирирования следует окончательная промывка 5—6 минут.

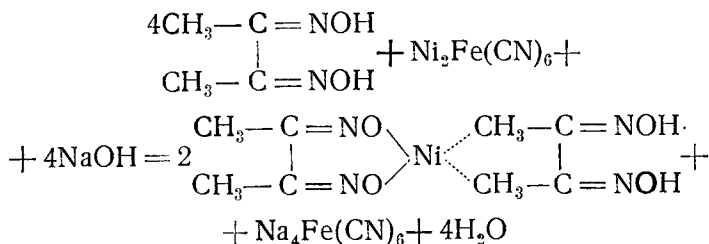
Состав красного виража следующий:

Диметилглиоксима	6,4 г
Едкого натра	6,4 „
Воды	до 1000 см ³

Вследствие плохой растворимости диметилглиоксима в воде указанный раствор составляют следующим образом: указанное в рецепте количество едкого натра растворяют при помешивании в 150—200 см³ воды, имеющей температуру 70—80°. После растворения едкого натра в раствор добавляют небольшими порциями диметилглиоксим. После его растворения добавляют воды до объема в 1000 см³. Раствор перед вирированием надо охладить до температуры 18—20°.

Примечание. Иногда у красного отпечатка может иметь место остаточная щелочность, которая будет вызывать после совмещения выцветание синего изображения. Поэтому красный отпечаток перед окончательной промывкой надо всегда на полминуты погружать в 2%-ный раствор уксусной кислоты.

При обработке отбеленного изображения в вирирующем растворе железистосинеродистый никель, образовавшийся в результате отбеливания, дает с диметилглиоксимом



окрашенный в пурпурный цвет диметилглиоксим никеля.

Вирирование в синий цвет. Отбеливание черно-белого позитива производится в „отбеливателе Кр-С“, совершенно аналогично указаниям, данным для красного виража.

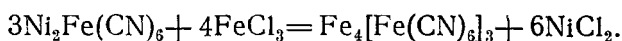
Тщательно отмытый отбеленный позитив вирируется в течение 10 минут в растворе „синий вираж“, которого берут 75 см³ на отпечаток 13 × 18 см. Вирированный отпечаток помещается на одну минуту в 15%-ный раствор соляной кислоты, затем промывается около 5 минут. Далее вирированный позитив обрабатывается для получения синего оттенка 4—5 минут 2%-ным раствором гипосульфита, после чего следует окончательная промывка.

Состав синего виража

Хлорного железа 50 г
Воды до 1000 см³

В результате обработки в этом растворе образуется окрашенная в зеленовато-синий цвет берлинская лазурь

$\text{Fe}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]$ за счет реакции между железистосинеродистым никелем отбеленного изображения и хлорным железом:



Примечание. Сивее изображение состоит из берлинской лазурь, которая легко разрушается любой щелочью, поэтому надо следить, чтобы промывная вода не имела щелочной реакции. Если реакция воды щелочная, то промывку надо вести в дистиллированной воде или в слегка подкисленной водопроводной воде (1—2 капли уксусной или соляной кислоты на 100 см^3 воды).

Вирирование в желтый цвет. Для отбеливания черно-белого позитива смешивают 50 см^3 „отбеливателя Ж-1“ с 50 см^3 „отбеливателя Ж-2“. Раствор Ж-1 постепенно приливается при помешивании к раствору Ж-2. При другом порядке смешивания может выпасть студенистый осадок. Если осадок все же получается, то при подогреве до 40° он легко растворяется. К указанной смеси растворов Ж-1 и Ж-2 добавляют 7 см^3 15%-ного раствора красной кровяной соли.

Отбеливающий раствор очень нестойк и сохраняется около часа. После обработки 8 отпечатков в 100 см^3 раствора он приходит в негодность.

Продолжительность отбеливания—12 минут. Затем позитивы споласкиваются в воде и кладутся обратно в отбеливающий раствор, куда предварительно добавляется 15 см^3 10%-ного раствора гипосульфита. В этом растворе позитив находится 3 минуты. Отпечаток споласкивается в воде и переносится на одну минуту в 1,5—2 %-ный раствор гипосульфита. Затем тщательно промывается в проточной воде в течение 20—30 минут.

Состав отбеливателя Ж-1

Воды	до 500 см^3
Азотнокислого кадмия	15 г
или хлористого кадмия	11,6 „

Состав отбеливателя Ж-2

Воды	до 500 см^3
Лимоннокислого калия	150 г
Формалина 10%-ного	20 см^3

Перед употреблением эти отбеливающие растворы смешиваются в равных объемах и на каждые 100 см^3 смеси добавляется по 7 см^3 15%-ного раствора красной кровяной соли.

В этом растворе происходит образование железистосинеродистого серебра и железистосинеродистого кадмия, $\text{Cd}_2\text{Fe}(\text{CN})_6$. Железистосинеродистое серебро затем удаляется

при обработке в растворе гипосульфита. Эта операция и последующая промывка должны проводиться очень тщательно, так как в противном случае оставшиеся в слое соли серебра при последующем вируровании дадут темное сернистое серебро, вследствие чего тон изображения будет испорчен и могут возникнуть пятна. При применении, вместо азотнокислого, хлористого кадмия время обработки в гипосульфите следует увеличить.

Тщательно промытый отбеленный отпечаток вируруется в течение 3 минут в растворе „желтый вираж“ (которого берут 75 см³ на отпечаток 13 × 18 см) и затем промывают до полного исчезновения запаха.

Состав желтого виража

Сернистого натрия (химически чистого)	50 г
Воды	до 1000 см ³

В этом растворе железистосинеродистый кадмий переходит в желтый сернистый кадмий CdS.

Для экономии растворов все процессы отбеливания и тонирования можно производить тампоном, смоченным в растворе. Техника работы такова: тампоном, смоченным в растворе, осторожно и быстро проводят по поверхности изображения до полного завершения процесса. Процессы при таком способе отбеливания и вирурования протекают несколько дольше, чем при обработке в растворе.

Если серая шкала на изображении будет иметь ясно выраженную окраску одного из компонентов изображения, то, очевидно, соответствующий цветной позитив слишком плотен и должен быть ослаблен до сборки изображения.

Пурпурный позитив может быть ослаблен в очень разбавленной соляной кислоте (1 часть концентрированной кислоты на 150 частей воды). После ослабления его тщательно промывают. В этом же растворе можно ослабить и желтое изображение, однако с риском потерять тонкие детали.

Синий позитив ослабляют в 2%-ном растворе буры, пока цвет не перейдет в пурпурный, и возвращают прежнюю окраску в разбавленной соляной кислоте (1 часть кислоты на 60 частей воды).

3. СОСТАВЛЕНИЕ ЦВЕТНОГО ИЗОБРАЖЕНИЯ

Полученные окрашенные позитивы необходимо сложить друг с другом так, чтобы контуры изображений точно совпадали.

В качестве подложки для переноса изображения берут белую плотную бумагу типа Ватман.

Для переноса эмульсионного слоя пленки на бумагу вирированный отпечаток, если он высох, размачивается в воде 8—10 минут. Затем его обсушивают фильтровальной бумагой и на его поверхность тампоном из ваты, обернутой несколькими рядами марли, наносится 10%-ный раствор глюкозы.

Поверхность бумаги, на которую переносится изображение, слегка увлажняется водой, на нее накладывается вирированный позитив и прикатывается мягким резиновым валиком. Прикатывая, надо следить, чтобы между бумагой и вирированным слоем не было воздушных пузырьков.

Убедившись, что слой прикатан хорошо, бумагу подвешивают для сушки. Температура воздуха должна быть 20—23°. При более низкой температуре воздуха слой будет плохо отставать.

Когда бумага высохнет, то целлулоид осторожно сдирают со слоя. На вирированном слое всегда остаются следы каучукового подслоя, которые необходимо удалить ваткой, смоченной в бензине, петролейном эфире или бензоле. Если каучук будет плохо удален, то следующий вирированный слой не приклеится.

К желтому изображению приклеивается красное, причем соблюдаются все правила, указанные выше. Последним приклеивается синее изображение.

После высыхания синего изображения целлулоид снимается, изображение аккуратно обрезается и наклеивается нейтральным клеем на паспарту.

Клей рекомендуется приготавливать самим следующего состава:

I. Желатины	400 г
Воды кипяченой	900 см ³
II. Крахмала	70 "
Воды	100 см ³

Первый раствор вливается во второй при 70°. Для консервации клея прибавляется 3 см³ скипидара.

Собранное таким образом изображение имеет сильно глянцевую поверхность, которая не всегда желательна. Чтобы избежать этого и получить изображение с приятной матовой поверхностью, можно прибегнуть к двойному переносу, как это практикуется в способе Карбро, но проводя сборку изображения в обратном порядке цветов, т. е. на бумагу сперва наклеивают синий позитив, затем красный и, наконец, желтый.

Собранное таким образом изображение размачивают в воде в течение 3—5 минут и переносят изображение на постоянную подложку.

Ошибки и неудачи процесса

1. Черные пятна на желтом позитиве обычно возникают вследствие загрязнения раствора синим виражным раствором. Эти пятна можно иногда удалить осторожным протиранием отпечатка мокрым клочком ваты. Если это не помогает, погружают отпечаток на несколько секунд в ванну:

Соляной кислоты концентрированной	7,5 см ³
Воды	до 300 „

2. Желтые пятна на синем позитиве происходят вследствие недостаточной обработки в соляной кислоте и плохой промывки. В этом случае следует повторить операции.

3. Общий пурпурный оттенок изображения. Если отпечатки правильно напечатаны, то это может быть вызвано недостаточной промывкой между отбелкой и вирированием в синем и красном виражных растворах.

4. Если первое отбеливание идет с трудом, следует добавить еще несколько см³ красной кровяной соли и потирать тампоном по поверхности отпечатка во время отбеливания.

В американском способе Хроматон позитивным материалом служит бромистая бумага, эмульсионный слой которой нанесен на тонкую коллодионную пленку, приклеенную в свою очередь к бумажной подложке. Этот клей растворяется в воде и таким образом при промывке коллодионная пленка, несущая на себе эмульсионный слой с изображением, отделяется от бумажной подложки. Все дальнейшие операции вирирования проводятся с отделившейся пленкой, и три окрашенных позитива непосредственно складываются друг с другом.

Способ изготовления такой бумаги разработан недавно у нас в Союзе и эта бумага в скором времени будет выпущена в продажу.

Виражный способ благодаря простоте и надежности операций является чрезвычайно удобным для любителя.

Результаты, полученные с его помощью, не намного уступают гидротипным изображениям или даже Карбро. В особенности этот метод пригоден для всякого рода технических и научных съемок.

4. ДВУЦВЕТНЫЙ ВИРАЖНЫЙ СПОСОБ

Виражный способ широко применяется при изготовлении цветных позитивов по двуцветному методу. В этом случае два позитива, сделанные с двух цветоделенных негативов, вирируются в соответствующие цвета.

Цветопередача определяется цветом полученных окрашенных изображений. Их окраска должна быть взаимно дополнительной, чтобы при субтрактивном смешении получился нейтрально-серый или черный цвет. Обычно для этой цели один позитив (с передней пленки бипака) вирируют

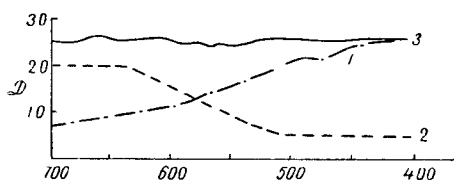


Рис. 106. Спектральное поглощение вирированных позитивов

в красно-оранжевый цвет с помощью уранового виража, а второй (с задней пленки) вирируют в синезеленый цвет в железном вираже. На рис. 106 показаны кривые спектрального поглощения для позитивов, отвирированных по этому способу. В результате наложения позитивов равной плотности друг на друга получается нейтрально-серый цвет, показанный на этом же рисунке.

Плотность серебряного изображения, вирированного в синий цвет, составляла 0,4, в то время как для уранового изображения плотность была равна 0,3. Серое изображение, полученное при наложении цветных, обладает плотностью приблизительно 2,5. Следовательно, при вирировании наблюдается значительное усиление изображения (рис. 107). В силу этого плотности и кон-

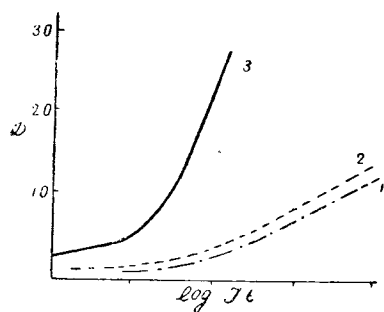


Рис. 107. Характеристические кривые красного (1) и синего (2) вирированных позитивов и полученного из них серого изображения (3)

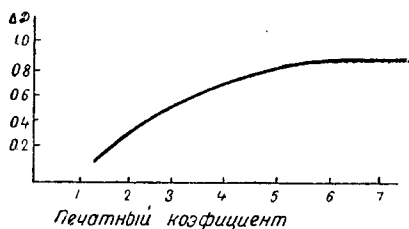


Рис. 108. График для определения печатного коэффициента

траст обоих черно-белых позитивов должны быть определенным образом подобраны для данного рецепта виража.

В Научно-исследовательском институте кинематографии (НИКФИ) в Москве в 1936—1937 гг. был разработан технологический процесс получения цветных изображений на непрозрачной подложке по двуцветному виражному методу применительно к советским материалам (В. А. Уваров).

В качестве негативного материала применяется бипак НИКФИ.

В качестве позитивного материала служит пленка со съёмным слоем.

При пользовании рецептурой виражей плотности обоих позитивов должны быть одинаковы. При проявлении передней и задней пленки бипака до одной гаммы серые шкалы негативов могут получиться неодинаковой плотности. В таком случае необходимо соответствующим образом подобрать выдержку при печати с обоих негативов.

Это можно сделать, пользуясь графиком (рис. 108). На оси ординат графика нанесены измеренные разности в плотностях серого поля для обоих негативов. По оси абсцисс отложены соответствующие значения печатающего коэффициента передней пленки, т. е. отношение выдержки, необходимой для печати с передней пленки, к выдержке, необходимой для печати с задней пленки. Если, например, плотность серого поля передней пленки на 0,28 больше, чем для задней, то из графика находим, что выдержка при печати с передней пленки должна быть на 65% больше, чем при задней.

Так как при вирировании происходит значительное усиление изображения, то максимальная плотность черно-белого позитива не должна превышать 0,4.

Получение такой небольшой плотности при хорошей проработке деталей на позитивной пленке с $\gamma = 1,4 - 1,6$ возможно только при значительном уменьшении времени проявления (30—45 сек. вместо нормальных 2—3 минут). Однако такое короткое время проявления очень неудобно в работе и не может обеспечить равномерного проявления. Поэтому лучше работать с сильно разбавленным проявителем, соответственно увеличив время проявления. В качестве проявителя можно рекомендовать глициновый проявитель такого состава:

Запасный раствор

Сульфита кристаллического	125 г
Поташа	125 "
Глицина	20 "
Воды	до 1 л

Для употребления смешивают 1 часть запасного раствора с 3 частями воды.

Время проявления при температуре 18° составляет 1,5—2 мин.

После фиксирования в кислом фиксаже позитивы промываются в проточной воде в течение 30 минут и дубятся в 40%-ном растворе формалина в течение 2 минут. После этого задубленные позитивы промывают в течение 10 минут. Позитивы можно вирировать во влажном состоянии или после сушки.

Для вирирования служат следующие рецепты:

А. Синий вираж

Запасный раствор I. Красной кровяной соли 2,5 г
0,25%-ного раствора дву-
хромовокислого калия . 1,3 см³
Воды дистиллированной . до 500 см³

Запасный раствор II. Железоаммиачных квасцов 2,5 г
Щавелевой кислоты 3,1 " "
Воды дистиллированной . до 500 см³

Смешивают в равных объемах и на 1 л готового светло-желтого раствора, добавляют 2,5 см³ концентрированной соляной кислоты.

В. Красный вираж

Щавелевокислого калия 3 г
Азотнокислого урана 2 " "
Красной кровяной соли 4,25 " "
Кислоты соляной концентрированной 9 см³
Воды дистиллированной до 1000 см³

Отфиксированные и тщательно промытые отпечатки вирируются в этих растворах по 6 минут. После вирирования и споласкивания отпечатки для удаления остатков железистосинеродистого серебра, образовавшегося после вирирования, обрабатываются в течение 3—5 мин. в таком растворе:

Гипосульфита 30 г
Соды кристаллической 1 " "
Воды до 1 л

При более продолжительном воздействии этого раствора окраска позитивов, в особенности синего, ослабляется. Этим можно пользоваться для ослабления отвирированных позитивов в случае неправильного подбора плотностей. Для этого можно употреблять и более концентрированные растворы гипосульфита.

После фиксирования отпечатки промывают в проточной воде в течение 10 мин. и затем переносят цветные позитивы на бумагу так, как это описано при трехцветном способе.

Виразные растворы необходимо сохранять в темноте. В 1 л виразного раствора можно отвирировать 30—40 отпечатков размером 13 × 18 см.

5. ПРОТРАВНЫЕ СПОСОБЫ. КОМБИНИРОВАННЫЕ СПОСОБЫ

Другой путь для получения цветных позитивов состоит в превращении серебряного позитивного изображения в химическое соединение, способное адсорбировать красители соответствующего цвета (протрава).

В качестве протравы применяются чаще всего двойная роданистая соль серебра и меди (родановая протрава), железистосинеродистый уранил (урановая протрава), иодистое серебро и др.

В НИКФИ был разработан двуцветный метод получения цветных изображений по протравному способу. Наилучшие результаты дал протравный раствор по Христиансену, составляемый по следующему рецепту:

Меди сернокислой	40 г
Лимоннокислого калия	60 "
Роданистого аммония	20 "
Уксусной кислоты 80%-ной	30 см ³
Воды	до 1 л

Раствор отстаивается в течение суток, после чего он фильтруется и применяется для работы.

Цветоделенные позитивы, напечатанные на пленке со съёмным слоем, протравливаются в этом растворе в течение 10 мин. и промываются после этого в воде в течение получаса.

Окрашивание в красно-оранжевый цвет производится в следующем растворе:

0,5%-ного раствора сафранина	30 см ³
1%-ного раствора аурамина	10 "
Воды дистиллированной	60 "
Уксусной кислоты 80%-ной	3 капли

Время окрашивания — 3 — 5 мин. После окрашивания споласкивают в воде в течение 1 мин., промывают в разбавленной уксусной кислоте (2%-ной) 3 — 4 мин. и хорошо промывают в воде до получения чистых цветов.

Для окраски в синий цвет пользуются 0,2%-ным раствором метиленовой голубой, к которому добавляются 3 капли 80%-ной уксусной кислоты. Окрашивание длится 3 минуты. Промывка ведется в более крепкой (10%-ной) уксусной кислоте в течение 4 минут, после чего следует 10 — 15-минутная промывка в воде.

Окрашенные таким способом позитивные изображения переносятся на бумагу так же, как это было описано при виражном способе. При этом часто происходит расплывание красителей вследствие диффузии, что приводит к нерезкости изображения и затянутости светов.

Довольно хорошие результаты можно получить с урановой протравой такого состава:

Урана азотнокислого	1,6 г
Щавелевой кислоты	0,8 "
Красной кровяной соли	0,8 "
Воды	до 1 л

В этом растворе протравливают в течение 2 мин. и после промывки в воде (15 мин.) окрашивают в водном растворе соответствующего красителя: синего — метиленовая голубая (0,2⁰/₀-ный раствор, окрашивание в течение 10 мин.), красного — сафранин (0,2 %-ный, в течение 5 мин.) и желтого — тиюфлавин Т. После окрашивания изображение обрабатывается 5 мин. в 10 %-ной уксусной кислоте и промывается в воде до очищения светов.

Все протравные способы довольно капризны и дают плохо воспроизводимые, непостоянные результаты. Количество краски, адсорбированной протравой, не пропорционально количеству металлического серебра позитивного изображения и поэтому вполне правильная цветопередача по этому способу затруднена.

Легкость и простота виражного метода вызвали к жизни множество комбинированных способов, в которых часть цветных позитивов (обычно один) получается по виражному методу, а остальные — по какому-нибудь другому (преимущественно по гидротипному).

Чаще всего виражным путем получают синее изображение, так как оно наиболее удовлетворительно по своим спектральным свойствам и легко получается с помощью вполне доступных реактивов.

Удобно получать синее изображение, непосредственно вируруя соответствующий позитивный отпечаток на бумаге. В этом случае печать нужно вести с перевернутого негатива.

Остальные два изображения могут быть нанесены на синее с помощью гидротипной печати.

Вряд ли стоит подробно останавливаться на многочисленных способах, основанных на этом принципе и различающихся между собой только в деталях.

РАСТРОВЫЕ СПОСОБЫ

1. КЛАССИФИКАЦИЯ РАСТРОВЫХ СПОСОБОВ

Специальные светочувствительные материалы, применяемые для этого способа (растровые пластинки и пленки), состоят в основном из прозрачной подложки, покрытой множеством крайне мелких цветоделяющих фильтров, образующих так называемый растр.

На него полит слой панхроматической эмульсии и экспозиция в камере проводится таким образом, что свет достигает эмульсии только пройдя через растр.

Этот принцип может быть осуществлен различными способами, с которыми мы и познакомимся при дальнейшем изложении.

Многочисленные типы растров, предложенные для цветной фотографии, могут быть разделены на две группы в зависимости от способа образования растровых элементов.

Мозаичные растры представляют собой мозаику из маленьких цветных светофильтров, лежащих непосредственно перед светочувствительным слоем. Сюда относятся растры известных растровых пластинок и пленок (Автохром Люмьера, Агфаколор Агфа и т. д.), в том числе и советских (Гоихром).

В оптических растрах окрашенный фильтр, служащий для цветоделения, помещается вблизи объектива. Сами растровые элементы представляют собой неокрашенные крошечные приспособления, расположенные перед светочувствительным слоем. Смотря по тому, работают ли эти приспособления по принципу стенопа или линзы, говорят о дырчатом или линзовом растре.

Как для мозаичных, так и для оптических растров в принципе возможно расположить растровые элементы правильным образом или же в беспорядке. Такое беспорядоч-

ное расположение (нерегулярные растры) применяется в пластинках и пленках Люмбера, Агфа и в советских пластинках Гоихром. Правильное расположение растровых элементов используется в способах Спайсер-Дюфей и Финлей и для всех оптических растров (регулярные растры).

Абсолютные размеры элементов растра сильно колеблются в зависимости от способа получения и целей применения. На рис. 109 схематически показаны наиболее упо-

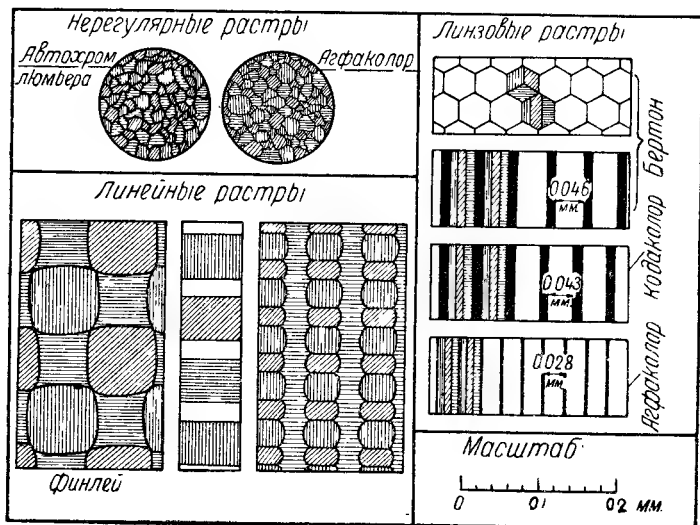


Рис. 109. Сравнительные размеры растровых элементов различных систем

требительные системы растров в правильных масштабных соотношениях.

В группе А находятся два главных представителя нерегулярных растров: растры Люмбера и Агфакolor. Величина растровых зернышек не одинакова; в среднем она составляет около 10μ . Как видно, зерна в растре Агфакolor плотно примыкают друг к другу без всяких промежутков, в то время как в растре Люмбера просветы между отдельными частицами заполнены черной массой. Этот растр готовится путем возможно более полного смешения трех сортов растровых зерен, величины которых могут варьировать в широких пределах. Из-за образования так называемых цепей, в которых слипаются вместе несколько частиц одного и того же цвета, получается впечатление зерна гораздо больших размеров.

В группе В регулярных или линейных растров величина растрового элемента в высокой степени зависит от спо-

соба изготовления и имеющихся механических средств. В особенности это относится к тем способам, в которых линии растра наносятся типографским способом. Предел тонкости растра определяется точностью изготовления печатающих валиков и консистенцией печатающей краски. Так как при ныне существующих механических средствах невозможно в пределах определенной ширины растра нанести три системы параллельных линий разного цвета, то для особенно мелких растров применяется способ, в котором линии перекрещиваются.

Самый мелкий из доступных в настоящее время растров это растр Спайсер-Дюфей, в котором константа растра около 70μ .

К группе С рис. 109 относятся оптические растры, в особенности очень хорошо технически разработанный линзовый растр. Благодаря особому способу изготовления такого растра удается достичь таких значений константы, которые далеко оставляют за собой возможности типографского метода. Уже в первых выпусках линзового растра изобретателю Бертону и его сотруднику Келлер - Дорману удалось получить ширину 46μ —число, которое было значительно перекрыто узкой пленкой Агфаколор с константой около 28μ .

Система растровых элементов в виде мозаичного или же оптического растра обычно бывает связана со светочувствительным слоем, образуя с ним одно неразрывное целое. В таком случае превращение серебряного негативного изображения в позитивное не может быть уже осуществлено путем контактной или проекционной печати на другой светочувствительный слой, а должно быть выполнено с помощью процесса обращения.

Для получения позитива путем обращения проявленный негатив не фиксируют, а после промывки подвергают обработке окисляющим раствором (перманганат, двуххромовокислый калий и т. п.), который растворяет металлическое серебро. Оставшееся после этого в слое неизмененное бромистое серебро равномерно засвечивают, проявляют и фиксируют.

Необходимость обращения (которая присуща и некоторым из субтрактивных методов, например способу цветного проявления) предъявляет определенного рода требования к свойствам светочувствительного слоя, которые будут рассмотрены далее.

В некоторых растровых способах растр отделен от светочувствительного слоя и приводится с ним в контакт только при съемке и рассматривании. Для такого рода способов, представителем которых является способ Финлей (Финлейколор), надобность в обращении отпадает.

2. ПРИГОТОВЛЕНИЕ НЕРЕГУЛЯРНЫХ РАСТРОВ

Первый технически пригодный растр принадлежал к типу регулярных (линейных) растров и был изготовлен Жоли в 1894 г.

Нерегулярные растры, получаемые путем запыливания окрашенным порошком, были предложены впервые Мак-Доно, но их техническое изготовление и выпуск в продажу составляют заслугу фирмы Люмьер, выпустившей в 1907 г. растровые пластинки под названием „Автохром“.

В 1923 г. фирма Агфа стала также выпускать растровые пластинки с мозаичным растром под маркой „Агфаколор“.

Техника изготовления растровых пластинок с мозаичным растром в основных чертах состоит в следующем.

Растровые элементы состоят из маленьких прозрачных частичек, окрашенных в три основных цвета: красный, сине-фиолетовый и зеленый. В растрах Люмьера эти частички представляют собой крахмальные зерна, окрашенные в надлежащий цвет. Такой же материал применяется для изготовления растра в советском методе Гоихром. Элементы растра Агфа образованы окрашенными капельками смоляной эмульсии.

Тесная смесь таких окрашенных частиц, в которой зеленые, синие и красные элементы находятся в определенных соотношениях, наносится тонким слоем на подложку (стекло или пленку) и частички расплющиваются таким образом, чтобы образовался сплошной тонкий слой окрашенных зерен. В способе Люмьера небольшие промежутки, все-таки остающиеся между крахмальными зернами после расплющивания, заполняются черным угольным порошком.

Поверх такого растрового слоя наносится тонкая пленка лака, защищающего растр от действия фотографических растворов. На этот слой лака поливается панхроматическая эмульсия, рассчитанная на последующее обращение.

Способ получения растровых пластинок с растром типа Люмьер был разработан у нас в Союзе в 1935 г. в Государственном оптическом институте в Ленинграда (Блумберг, Дорогин). Технология этого процесса (Гоихром) разрабатывается ныне в научно-исследовательской лаборатории Главного управления фотопромышленности.

Схема изготовления растровых пластинок по методу ГОИ заключается в следующем.

Тщательно вычищенные стеклянные пластинки поливаются специальным липким подслоем, состоящим из раствора льняного масла в бензине. Назначение этого подслоя — удерживать путем прилипания наносимые на него крахмальные зернышки растра.

После нанесения подслоя стекла подвергают нагреванию для того, чтобы полимеризовать нанесенную пленку масла и сделать ее более устойчивой против механических воздействий при расплющивании (раскатке) раstra.

Отмученные и отсепарированные до приблизительно одинаковых размеров (в среднем 0,01 мм) зерна картофельного крахмала окрашиваются в водных растворах соответствующих красителей:

для красных зерен — смесь эозина с метаниловой желтой,

для зеленых зерен — смесь малахитовой зеленой с аурамином,

для сине-фиолетовых зерен — метилвиолет.

Спектральное пропускание окрашенных таким образом зерен приведено на рис. 110.

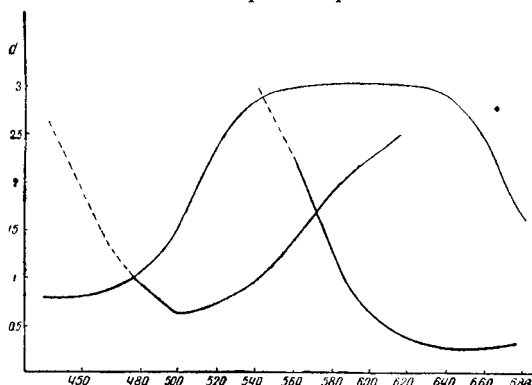


Рис. 110. Спектральное пропускание зерен раstra "Гоихром"

Окрашенные таким образом зерна крахмала представляют собой после высушивания сильно слипшиеся комки. Для дезинтеграции их пропускают сперва через шаровую мельницу с фарфоровыми шарами, а затем просеивают через тонкие сита (диаметр отверстия около 0,04 мм).

Из окрашенного дезинтегрированного и просеянного крахмала составляют трехцветную смесь, служащую для изготовления раstra. Для этого смешивают зерна трех цветов в таком соотношении, чтобы смесь имела нейтрально-серый цвет.

Приблизительное соотношение числа зерен, образующих такую смесь, таково: красные относятся к зеленым относятся к синим, как 3: 4: 3.

Подслоенные пластинки запыляются этой смесью и избыток зерен, за исключением одного слоя, лежащего непосредственно на подслое, удаляется осторожным смахиванием кисточкой.

Далее пластинки подвергаются операции раздавливания зерен. Это осуществляется на специальной машине путем прокатывания стальным роликом. Раскатка представляет собой весьма деликатную операцию и должна быть проведена с большой тщательностью.

Раскатанный растр покрывают с помощью центрофуги тонкой пленкой защитного копалового лака. После высыхания лака пластинки готовы для полива эмульсии.

Специальная панхроматическая эмульсия, характеризующаяся высоким содержанием серебра и приспособленная для обращения, поливается очень тонким слоем (толщина полива составляет примерно около 0,01 мм против 0,015—0,025 мм для обычных пластинок).

3. ПРИГОТОВЛЕНИЕ РЕГУЛЯРНЫХ РАСТРОВ

Приготовление регулярного линейного растра производится другим путем. В способе Дюфейколор это выполняется, следующим образом.

Пленочная основа (ацетилцеллюлоза) поливается тонким и очень ровным слоем коллодия, окрашенного в зеленый цвет (малахитовая зеленая с аурамином). После сушки пленка проходит через специальную печатную машину, главную составную часть которой составляет стальной цилиндр, на поверхности которого выгравированы тонкие линии числом до 24 на 1 мм. Ширина этих линий равна ширине промежутков между ними.

На этот цилиндр наносится специальная жирная краска, которая при прокатывании цилиндра по пленке оставляет на ней ряд параллельных тонких линий. Эти линии должны быть нанесены чрезвычайно точно, строго параллельно друг другу без каких-либо перерывов или изгибов.

Такая нанесенная жирной краской система линий (резерваж) защищает лежащие под ней участки окрашенного коллодия от действия последующей ванны, содержащей спирт и щелочь. В этой ванне краска, находящаяся в промежутке между линиями резерважа, обесцвечивается.

После этого пленка проходит через ванну, в которой обесцвеченные места окрашиваются в синий цвет (метилен-блау или кристаллвиолет).

После промывки резерваж удаляется посредством бензина. После этой стадии пленка оказывается покрытой рядами параллельных синих и зеленых линий равной ширины, идущих под углом в 23° к краям пленки.

Пленка затем пропускается под углом приблизительно в 90° через другую печатную машину, на цилиндре которой выгравированы линии вдвое более широкие, чем промежутки между ними. Таким образом, когда с помощью такого цилиндра наносится резерваж, то защитная краска ложится поперек цветных полос линиями двойной ширины. Незащищенные промежутки обесцвечиваются таким же способом и окрашиваются в красный цвет (основной родамин).

После окончательного удаления резерважа пленка оказывается покрытой прозрачным растром, состоящим из квадратов трех основных цветов.

Кривые пропускания элементов растра Дюфей и других приведены на рис. 111 *а, в, с*.

Растровые фильтры Дюфей относятся к числу сильно перекрывающих, что наряду с большой прозрачностью окрашенного коллоидионного слоя дает очень прозрачный растр. Это приводит к значительному уменьшению требующейся выдержки.

Пленки Дюфей принадлежат к числу самых чувствительных растровых материалов. Чувствительность их составляет около 18° Шейнера и соответствует примерно $1/2$ чувствительности обычных панхроматических материалов.

Особняком от прочих методов с фильтрами растрами стоит процесс, изобретенный Финлеем и носящий название Финлейколор.

Отличие его от описанных выше способов состоит в том, что растр не связан непосредственно с эмульсией, а приводится с ней в контакт лишь перед съемкой. После экспозиции растр снова отделяется от пластинки. Диапозитив с проявленной пластинки складывается в точном совпадении со съемочным растром и в таком виде дает цветной диапозитив. На практике растр для рассматривания несколько отличается от съемочного, будучи более темным и насыщенным.

Растры, применяемые в этом способе, могут быть только регулярными, так как нерегулярные растры не могут обеспечить точное совпадение растровых элементов растра для рассматривания с их изображением на позитиве.

Съемка ведется на панхроматических пластинках, закладываемых в кассету вместе со съемочным растром.

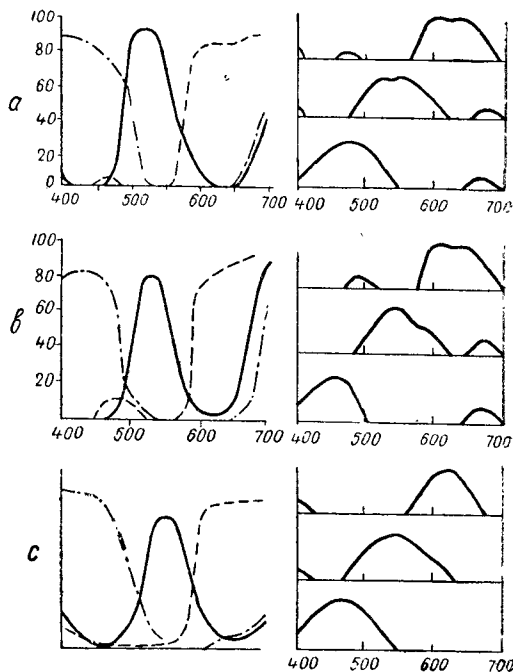


Рис. 111. Спектральное пропускание элементов различных растров:

а — растр Дюфей; *б* — растр Финлей; *с* — растр Алфа

Кривые справа показывают спектральную чувствительность эмульсий под соответствующими растровыми зернами

Поскольку этот процесс не нуждается в обращении, негативный материал не ограничен теми строгими требованиями относительно ширины и чувствительности, которые налагаются на обрабатываемую эмульсию. Поэтому, несмотря на весьма строгие фильтры съемочного растра, обеспечивающие высокую насыщенность репродукции, чувствительность пластинок Финлей довольно высока—примерно лишь в 6 раз меньше, чем обычной портретной пленки (для дневного света). При этом ширина лишь немногим уступает широте обычных негативных материалов.

Съемочный растр при осторожном с ним обращении может быть применен повторно сколько угодно раз.

После экспозиции пластинка, отделенная от растра, проявляется и фиксируется обычным образом. Диапозитив с такого негатива может готовиться только путем контактной печати, так как при увеличении элементы изображения изменятся и их нельзя уже будет совместить с растром для рассматривания.

4. РАЗРЕШАЮЩАЯ СПОСОБНОСТЬ И ВИДИМОСТЬ РАСТРА

Так же, как для обычной черно-белой фотографии величина эмульсионного зерна играет определенную роль в передаче деталей, так и при цветных растрах величина растровых элементов имеет значение для качества изображения. Она определяет видимость растра, как такового, и передачу резких контуров и деталей.

Вообще тонкость растра стоит в определенном соотношении к разрешающей способности и в известном смысле к чувствительности применяемого светочувствительного слоя. Все эти соотношения будут подробнее разъяснены в дальнейшем.

Виден ли растр при определенных условиях или нет, зависит в первую очередь от того, с какого расстояния рассматривается изображение (от угловых размеров элементов).

При хорошем растровом изображении формата 9х12 см наличие растра невооруженным глазом не различается. Увеличивая при проекции это изображение в 10 раз и рассматривая его только с расстояния втрое большего, мы увидим растровые зерна совершенно ясно. Требования, предъявляемые к тонкости растра, являются прямой функцией формата. Достаточно высокое разрешение в особенности важно при узкоплоскостных форматах, которые при проекции увеличиваются примерно в 100 раз, а рассматриваются на расстоянии только в пять раз больше, чем для формата 9х12 см. Поэтому в данном случае растр должен быть в 20 раз более мелким.

Видимость растра, помимо величины его элементов, зависит еще и от ряда других факторов. Во многих растрах кроме собственно окрашенных элементов, присутствуют также и неокрашенные, которые действуют тем сильнее, чем они больше по сравнению с окрашенными частичками.

Так как светлота окрашенных частиц растра различна для разных основных цветов, то видимость растра, обусловленная наиболее сильным контрастом по светлоте, различна для различных цветов. Это легко видеть на следующем примере. Чистый синий цвет передается с помощью цветного растра таким образом, что закрываются красные и зеленые элементы. Поле зрения состоит, следовательно, из черных элементов примерно вдвое большей площади, чем синие, чередующихся с этими последними. Так как синие элементы являются самыми темными, контраст яркости и видимость растра в чисто синем цвете малы. В желтом или оранжевом, напротив, совершенно непрозрачные элементы, закрывающие синие, чередуются с красными и зелеными частичками,—контраст и видимость растра в этом случае особенно велики. Таким образом различимость растра зависит от того, имеем ли мы совершенно непрозрачные места, распределенные среди более светлых или более темных элементов. В первом случае непрозрачные элементы, если их величина сравнима с величиной цветных вместе с темными синими, дают впечатление вдвое более мелкого растра. Если же они лежат между синими и красными (это особенно важно в случае линейных растров), то при передаче желтого мы будем иметь широкие темные линии на желтом, т. е. светлом фоне, что благоприятствует видимости растра. При увеличении яркости освещения яркостный контраст между непрозрачными и окрашенными элементами еще возрастает и, следовательно, видимость растра увеличивается.

Кроме этих общих соображений, расположение растровых частиц, обусловленное техникой получения растра, также сильно влияет на его видимость.

Зернистые растры содержат цветовые элементы в виде беспорядочно распределенных, неправильной формы окрашенных пластинок, поперечник которых в среднем составляет 0,01 мм. Растр Люмьера содержит между цветными частичками черную заполняющую массу, которая, однако, не имеет большого влияния на видимость растра, так как занятая ею поверхность мала по сравнению с площадью цветных частиц.

Напротив, распределение зерен различной окраски всегда имеет большое влияние на видимость растра. Это обуславливается тем, что даже при самом тщательном смешении

трех сортов зерен невозможно добиться такого расположения, при котором два зерна одинакового цвета не попадали бы рядом. Легко видеть, что такое совпадение нескольких зерен одинакового цвета будет выглядеть точно так же, как и одно зерно соответственно большего размера. Другими словами: растр делается видимым вследствие слипания и случайного соседства зерен одинакового цвета. Простое рассмотрение показывает, что даже при простейшем допущении частиц равной величины и правильной круглой или шестиугольной формы соприкосновение нескольких зерен одинакового цвета можно устранить только при правильном их расположении.

На практике такое сгущивание зерен, которое в дальнейшем мы будем называть образованием цепей или островков, вполне устранить нельзя.

Образование цепей при нерегулярных зернистых растрах представляет недостаток, который не может быть устранен ни изменением методики смешения или его продолжительности, ни изменением физических свойств поверхности зерен. Единственная возможность уменьшить видимость растра, обусловленную цепеобразованием, состоит в том, чтобы частицы растра делать возможно меньшими. Однако, чем меньше зернышки растра и чем они по размерам ближе к эмульсионным зернам, тем хуже удастся локализовать действие света на определенное зерно растра. Свет действует также и под зернышками, не пропускающими свет, в результате чего получается увеличение белесоватости цвета. Эти естественные границы тонкости растра, которые ставятся разрешающей способностью эмульсии, будут обсуждаться далее.

В противоположность нерегулярному растру, регулярный растр, который в общем виде состоит из полосок или бесконечно длинных рядов зерен, имеет то преимущество, что в нем исключается неизбежное для нерегулярного растра образование неправильных скоплений и цепей. При этом изготовление такого растра представляет большие технические трудности, сильно возрастающие с тонкостью растра.

Сравнение некоторых растров на рис. 109 показывает, что регулярные линейные растры в общем грубее, чем зернистые. Если они не обладают повышенной по сравнению с зернистыми растрами видимостью, то это вызвано только устранением цепеобразования.

Самый тонкий из ныне существующих практически изготавливаемых растров (Спайсер - Дюфей) еще не достигает пределов, поставленных разрешающей способностью эмульсии.

Как было уже ранее вкратце упомянуто, имеется существенное различие между видимостью растра и его раз-

решающей способностью. Это различие менее значительно при нормальных растрах и сильно проявляется в оптических растрах. Допустим, что мы имеем обычный регулярный растр, частицы которого таковы, что слой растра без эмульсии является совершенно прозрачным. Тогда возможно, что контуры некоторого предмета пройдут как раз через середины фильтровых элементов. Если в этом случае изображаемый предмет не сильно окрашен и не находится на сильно окрашенном фоне, то контуры предмета не будут нарушены растром. Если же предмет или фон будут сильно окрашены, то контур будет зубчатый, потому что он будет зависеть от присутствия растровых частиц цвета объекта или фона. В этом случае разрешающая способность идет параллельно с видимостью растра.

Хуже будут разрешены контуры, если растр не прозрачен подобно стеклянной пластинке, но содержит элементы с изогнутой поверхностью, обладающие другим показателем преломления, чем среда. Они действуют как линзы, свет в них преломляется и растр в целом действует как рассеивающая свет пластинка. Такое действие в особенности выражено у тех растровых элементов, которые имеют большую толщину или находятся на большом расстоянии от слоя. Это может иметь место при мозаичных растрах, в которых между зернами растра и светочувствительным слоем находится защитный лак. Растровые зерна имеют вследствие своей изогнутой поверхности форму линз и обладают для находящихся в продаже пластинок и пленок явственно измеримым фокусным расстоянием около 0,07 мм. Заменяя вышеописанный растр с плоскопараллельными зернами растром с такими линзообразными зернами, мы не сможем уже получить прохождение контуров изображения через середину растровых частиц. Напротив, вследствие собирающего или рассеивающего действия зернышек происходит перераспределение яркости таким образом, что световой пучок несколько размывается.

Этот эффект не играет большой роли в резкости контуров при обычных материалах, так как их формат велик по сравнению с величиной растра. Однако это сказывается с полной силой для дырчатых и линзовых растров с круглыми и многоугольными линзами.

Технически возможное уменьшение растровых элементов при зернистых и линзовых растрах имеет пределом недостаточную разрешающую способность эмульсии.

Основные принципы цветной фотографии требуют возможно более чистого разложения цветов снимаемого объекта на три основных цвета; если это не выполнено, то происходит потеря насыщенности, выражающаяся в общем побледнении цветов. Принцип цветного растра имеет тот

недостаток, что выполнение точного цветоделения на три основные цвета несколько затруднено. Рассеяние света зернами эмульсии действует здесь таким образом, что действие света не ограничивается тем участком эмульсии, который отвечает соответствующему элементу растра, но распространяется на соседние участки, лежащие под растровыми зернами другого цвета. При воспроизведении принимают участие не только частички с цветом снимаемого основного цвета, но и соседние, что приводит к белесоватости цветов. Вообще говоря, рассеяние света тем более, чем выше чувствительность эмульсии. Мы принуждены, поэтому, прибегать к компромиссу между чувствительностью и тонкостью растра. Особенно благоприятным является то обстоятельство, что при растровых методах применяется так называемый способ обращения, при котором изображение сразу переводится в позитив. Так как при первом проявлении сначала восстанавливаются наиболее крупные зерна, то позитив, образующийся после второго проявления, состоит уже из оставшихся мелких зерен.

5. ПРОЦЕСС ОБРАЩЕНИЯ И ЕГО ВЛИЯНИЕ НА ШИРОТУ ЭМУЛЬСИИ ДЛЯ РАСТРОВЫХ СПОСОБОВ

Для успешного обращения необходимо, чтобы при первом проявлении все экспонированное бромистое серебро было полностью проявлено. В противном случае оставшееся в этих местах (светлых на позитиве) бромистое серебро восстановится при втором проявлении и даст вуаль. Для того чтобы обеспечить такое полное проявление, эмульсионный слой должен быть очень тонок.

Необходимость тонких слоев диктуется еще и другим обстоятельством, общим также и для тех способов, в которых цветоделение происходит в трех неразрывно связанных друг с другом слоях (субтрактивное цветоделение).

Контраст фотографического изображения зависит, при прочих равных условиях, от окраски света, которым оно вызвано. Поэтому синие цветоделенные негативы, как правило, имеют меньший контраст, в силу чего их требуется проявлять несколько дольше, чем остальные два.

При растровых способах мы не имеем возможности компенсировать это уменьшение контраста изображения под синими зернами растра путем увеличения времени проявления.

Однако это влияние окраски света на гамму, зависящее от различной глубины проникновения разных лучей в эмульсию, сильно уменьшается при тонких эмульсионных слоях (Спенсер). Поэтому применение тонких эмульсионных слоев при растровых методах облегчает получение правильного цветового баланса.

Чтобы обеспечить достаточно большие плотности и контраст для такого тонкого слоя, эмульсия должна быть богата серебром, а серебро должно выделяться в таком виде, чтобы обладать большой кроющей способностью.

Однако в этом отношении не следует идти слишком далеко, так как в противном случае при втором проявлении, которое у растровых пластинок должно идти до конца, трудно получить чистые света. Для облегчения этого прибегают к специальному составу проявителя.

Незначительная толщина эмульсионного слоя растровых пластинок влечет за собой неизбежное уменьшение широты.

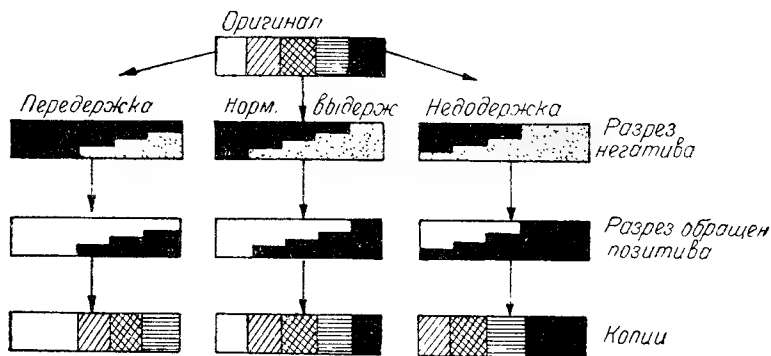


Рис. 112. Зависимость передачи тонов от выдержки при обращении

Мы уже неоднократно указывали, что ширина экспозиции в цветной фотографии значительно меньше, чем в монохромной. Еще в большей степени это имеет место для тех процессов, в которых используется обращение негатива, как например в растровых. В этом случае, помимо особенностей, вызываемых самим процессом обращения, следует учитывать, что мы лишены возможности корректировать ошибки в негативе таким способом, как это делается при позитивной печати путем изменения времени выдержки, условий проявления и т. п.

Ширина при процессах обращения лимитируется тем обстоятельством, что после удаления негативного изображения путем растворения серебра должно остаться количество бромистого серебра, как раз необходимое для позитива.

На рис. 112 схематически показана репродукция пятиступенчатой серой шкалы с помощью процесса обращения. Как видно из этой схемы, передержки приводят к слабым позитивам с „пустыми“ светами, а недодержки — к плотным позитивам с забитыми светами и слишком густыми „заваленными“ тенями. При нормальной экспозиции только самые яркие света свободны от металлического серебра.

Помимо этого растровые материалы, как и многослойные, обладают очень малой толщиной светочувствительного слоя.

Поэтому правильно передаваемый интервал яркостей для этих материалов сильно ограничен, что заставляет избегать объектов с сильными контрастами.

Исходя из этих соображений, определение экспозиции в этих случаях должно исходить из несколько иных соображений, чем в монохромной работе.

В монохромном процессе света всегда можно получить с нужной яркостью изменением времени печати или соответствующим выбором бумаги.

В процессах обращения мы лишены промежуточной ступени — позитивного процесса, с помощью которого мы можем коррегировать недостатки негатива. В этом случае мы фактически получаем непосредственно позитив.

В силу всех этих обстоятельств правильное определение выдержки при растровых способах является самой существенной частью всех операций. Сама обработка растровых материалов и получение готового цветного изображения очень просты и главная трудность лежит именно в установлении правильной выдержки.

6. КОМПЕНСАЦИОННЫЕ ФИЛЬТРЫ. ТЕХНИКА СЪЕМКИ

Фильтровые элементы любого растра играют роль анализирующих фильтров обычной цветоделенной съемки. Поэтому необходимость компенсации неодинаковой чувствительности эмульсии к разным цветам и различной пропускаемости фильтров сохраняется и в растровых способах.

Такая компенсация при цветоделенной съемке может быть осуществлена либо путем надлежащего выбора кратностей фильтра, либо предусмотрена устройством цветоделящей камеры, либо, наконец, выполнена с помощью компенсационных фильтров.

При растровых методах речь может идти только о последнем способе.

Компенсационный фильтр, помещенный перед или позади объектива, должен обладать спектральным пропусканием, определяющимся спектральным составом освещения, пропускаемостью растровых элементов и спектральной чувствительностью эмульсии. Такой фильтр должен удалять в надлежащей пропорции те лучи, которые в результате действия упомянутых выше факторов нарушали бы цветовой баланс.

Для различных типов освещения следует применять различные компенсационные фильтры. Обычно считается,

что набор из пяти компенсационных фильтров покрывает почти все возможные на практике условия освещения.

Большинство современных растровых материалов (Люмиколор, пленки Агфаколор, Дюфейколор) изготовлено таким образом, что не требует применения компенсационного фильтра при съемках на среднем дневном свете, хотя при съемке отдаленных пейзажей следует пользоваться эскулиновым фильтром (Реттен № 2 А), срезающим ультрафиолетовые лучи.

Для съемки на растровых пластинках или пленках годится любая камера с хорошим объективом. Так как экспозиция в этом случае должна происходить через растровый слой, то пластинка (пленка) должна быть заряжена в кассету таким образом, чтобы ее стеклянная (целлулоидная) сторона была обращена к объективу. Поэтому при наводке на фокус необходимо ввести соответствующую поправку.

Проще всего это сделать, перевернув матовое стекло гладкой стороной внутрь. Этот способ неприменим в случае пленок, толщина которых несравнима с толщиной матового стекла. Тут приходится изменять положение объектива, приближая его к чувствительной поверхности пленки.

Требуемое смещение объектива можно найти с достаточной для практических целей точностью, исходя из того, что гиперфокальное расстояние d в случае применения перевернутой пленки с оптической толщиной δ будет равно

$$d = \frac{f^2}{\delta}$$

где f — фокусное расстояние объектива.

Для пленки Дюфейколор и объектива с $f = 50$ мм d равно примерно 25 м. Это расстояние будет соответствовать установке „на бесконечность“ при съемках на растровой пленке.

Так как съемка проводится через подложку (стекло, целлулоид), эта сторона должна быть совершенно чистой и свободной от пыли.

Эмульсионный слой растровых пластинок и пленок очень нежен и требует поэтому осторожного и бережного обращения как при зарядке, так и при последующих операциях. В большинстве случаев эмульсионный слой защищается тонким листком черного картона, упакованного вместе с пластинками. При зарядке в кассету этот листок предохраняет эмульсионный слой от повреждения кассетными пружинами.

Очень малая ширина растровых материалов требует особенно точного определения выдержки. Точность, даваемая обычными фотоэлектрическими экспонометрами,

рассчитанными, как правило, на более чувствительные слои, оказывается в этом случае не вполне достаточной. Приходится прибегать к дополнительной калибровке экспонметра, подбирая опытным путем выдержку для одной определенной силы света и пользуясь в дальнейшем экспонметром только для относительных определений. В силу этих же причин не следует особенно полагаться на значения скоростей затвора и обязательно его проверять.

7. ОБРАБОТКА РАСТРОВЫХ ПЛАСТИНОК И ПЛЕНОК

Обработка экспонированных растровых пластинок сводится к нескольким простым операциям: первое проявление, отбеливание, второе проявление на свету, промывка, сушка и окончательная отделка.

Характерным отличием проявителей, употребляющихся при первом проявлении, является присутствие в них веществ, растворяющих бромистое серебро.

В качестве таких растворителей применяют чаще всего аммиак или роданистый калий.

Проявитель для пленок Дюфей

Метол	6,5 г
Сульфита кристаллического	2,0 „
Гидрохинона	2,0 „
Соды кристаллической	100 „
Бромистого калия	2,75 „
Роданистого аммония	9 „
Воды	до 1 л

Время проявления $3\frac{1}{2}$ мин.

Для проявления советских растровых пластинок „Гоихром“ применяется проявитель с аммиаком.

Необходимость применения таких растворителей диктуется следующими причинами.

1. Даже при тонком эмульсионном слое нельзя обеспечить полное проявление всех эмульсионных зерен в ярких светах, что может привести в дальнейшем к их затягиванию. Растворитель, находящийся в проявителе, растворяет эти малочувствительные зерна (обычно более мелкие и потому легче растворяющиеся) и обеспечивает таким образом получение чистых светов.

2. Обычно контраст (гамма) негатива регулируется временем проявления. При процессах обращения максимальное значение гаммы достигается в самом начале проявления (для пленок Дюфей через $1\frac{1}{2}$ минуты), и контраст дальше не изменяется, несмотря на увеличение плотности. Это объясняется именно присутствием растворителя для бромистого серебра в проявляющем растре.

Благодаря этому возможно в ограниченных, правда, пределах компенсировать недодержку путем удлинения времени проявления.

3. Употребление растворителей галоидного серебра весьма усиливает краевой эффект (эффект Эбергарда), заключающийся в том, что на границе между темными и светлыми местами изображения плотности темных мест увеличиваются и контраст повышается. Причиной этого эффекта служат, повидимому, коллоидно-химические явления при проявлении, связанные не только с растворением бромистого серебра, но и с набуханием желатинового слоя. Такое же действие может быть вызвано и другими растворителями AgBr , добавленными в проявитель (например гипосульфитом), но в сочетании с веществами, способствующими набуханию желатины (например сульфо-салицилатом).

Этот краевой эффект благодаря повышению контраста вызывает кажущееся увеличение насыщенности при растровых съемках. В этом отношении краевой эффект компенсирует то понижение насыщенности, которое вызывается рассеянием света в толще эмульсионного слоя.

После проявления негатив отбеливается в ванне из кислого раствора перманганата или бихромата. Отбелка в бихромате приводит к менее насыщенным, но более эстетически приятным цветам. После осветления в растворе бисульфита или сульфита (при бихроматном отбеливателе) пластинка (пленка) хорошо промывается и засвечивается на ярком искусственном свете.

После засвечивания следует второе проявление в обычном метолгидрохиноновом проявителе. Проявление ведут до конца, после чего фиксируют и промывают.

При всех этих операциях следует не забывать, что эмульсионный слой очень тонок и нежен.

Нелишне будет привести наиболее частые недостатки, которыми обладают готовые растровые диапозитивы, не указывая, однако, способов их устранения, которые в известной степени специальны для того или другого типа.

Недостатки	П р и ч и н ы
Тусклые и темные. Детали в светах отсутствуют.	Недодержка
Темные, но детали в светах есть	а) Первое проявление было слишком коротким или в холодном проявителе, б) недостаточная промывка между различными этапами

Недостатки	Причины
Тонкие. Цвета тусклы. В ярких светах нет деталей	а) Передержка, б) вуаль на эмульсии, в) слишком долгое первое проявление
Цвета полностью отсутствуют	Пластины (или пленки) заряжены в кассету эмульсионной стороной к объективу
Черные точки	Пыль на внешней стороне подложки
Общий цветной оттенок	а) Голубой — отсутствие компенсационного фильтра при дневных съемках, б) оранжевый — отсутствие компенсационного фильтра при полуважном освещении, в) красный — засветка от красного лабораторного фонаря
Дихроическая вуаль. Общая вуаль	Ошибки в обработке: старые растворы, недостаточная промывка и т. п.
Потеря плотности при фиксировании	Недостаточная засветка или неполное второе проявление

Пластины, в которых растр отделен от светочувствительного слоя (Финлейколор), обрабатываются несколько иначе.

Регулярный растр, нанесенный на тонкое стекло (около 1 мм толщины) складывается с эмульсионным слоем панхроматической пластины и в таком виде закладывается в кассету. После съемки пластины вынимаются из кассет и проявляются в обычном мягко работающем проявителе. После фиксирования, промывки и сушки с этих негативов печатаются контактом диапозитивы. Последние складываются затем в точном совпадении со специальным растром для рассматривания, который подобен съемочному растру, но обладает более насыщенной и темной окраской.

Ширина экспозиции в этом случае больше, чем для процессов обращения, хотя все же несколько уступает широте, используемой при обычных цветоделенных съемках. Причиной этого последнего обстоятельства является различие в контрасте изображений под тремя растровыми элементами, которое, очевидно, не может быть исправлено при проявлении. Степень этого различия зависит от экспозиции и увеличивается при недостаточной выдержке.

8. РАЗМНОЖЕНИЕ РАСТРОВЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ

Аддитивные растровые способы представляют в настоящее время наиболее практичный способ цветной фотографии для тех любителей, которые могут удовлетвориться цветным диапозитивом в одном экземпляре.

Сравнительная простота и удобство этих способов наряду с высоким качеством цветопередачи, присущем вообще аддитивным методам, выдвинули бы растровые материалы на одно из первых мест среди прочих методов цветной

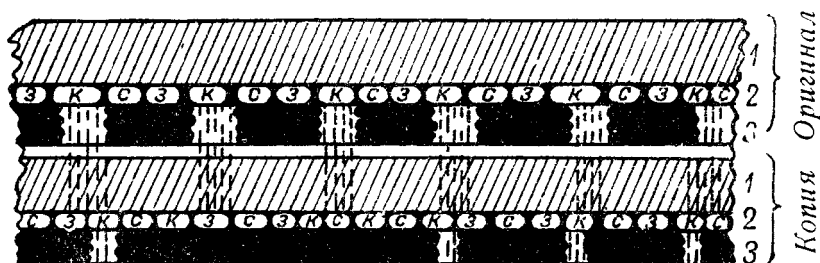


Рис. 113. Копирование растровых снимков в параллельном свете

1 — подложка; 2 — растр; 3 — изображение

фотографии, если бы удалось найти удобные способы размножения растровых изображений.

Однако в настоящее время копирование растровых диапозитивов представляет значительные трудности. В таких системах, как Финлей, в которых растр отделяется от светочувствительного слоя, размножение изображений путем контактной печати не представляет каких-либо трудностей, хотя получение увеличенных изображений если и возможно, то лишь косвенным путем, с большими затруднениями.

Наиболее прямым путем копирования растровых диапозитивов, казалось, должна быть контактная печать с оригинала на аналогичную растровую пластинку с последующим ее обращением. Однако при таком способе происходит настолько большая потеря насыщенности и светлоты всех цветов, что этот способ оказывается практически невозможным.

Причины этого видны из рассмотрения схемы рис. 113, представляющей случай такого контактного копирования в параллельно направленном световом пучке.

В верхнем оригинале красные зерна совершенно свободны от серебра, что дает в результате наиболее насыщенный и яркий красный цвет. В этом случае только одна треть всей освещенной площади пропускает свет.

Для того чтобы это же условие соблюдалось и в копии, нужно, чтобы красные зерна пластинки, на которой ее печатают, лежали как раз против красных зерен оригинала. В этом случае, очевидно, весь свет, прошедший через оригинальную пластинку, попадает на копию и дает красное изображение.

Легко видеть, что такое симметричное расположение осуществить нельзя, и в целом ряде случаев против красного зерна будет находиться зеленое или синее, в результате чего в этих местах в копии после обращения будет черное серебро, как это показано на рис. 113.

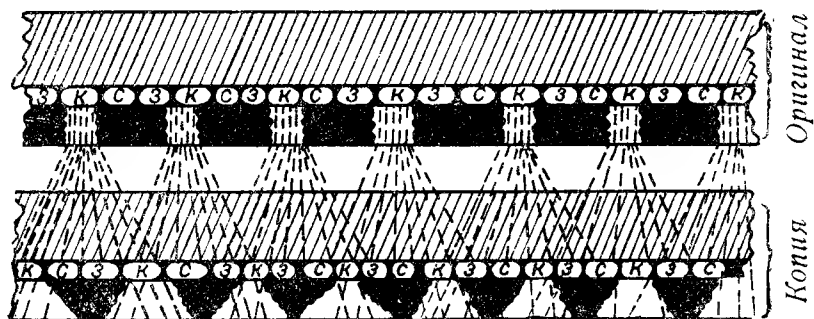


Рис. 114. Копирование растровых снимков в рассеянном свете

В среднем не больше одной трети света, прошедшего через оригинал, пройдет через красные зерна копии и, следовательно, при таком способе копирования после обращения примерно только одна треть красных зерен останется прозрачной, т. е. произойдет уменьшение прозрачности изображения. Кроме того вообще все искажения цветопередачи возрастут, так как копирование в данном случае представляет собой как бы вторичную цветную съемку, в которой первая копия служит оригиналом. Так как уже при фотографировании цвета на первой копии получаются с уменьшенной против оригинала насыщенностью, то при контактном копировании на новую пластинку этот недостаток, как и все остальные цветовые искажения, возрастет. Все это делает такой способ копирования неприменимым на практике.

В связи с тем, что расположить оригинал и пластинку для копирования так, чтобы их растровые элементы, окрашенные в один и тот же цвет, лежали точно друг против друга, невозможно, приходится прибегнуть к копированию при диффузном (рассеянном) свете.

В этом случае свет, исходящий из каждого красного элемента оригинала, распространяется по большей площади

и вероятность его прохождения через красное зерно на копии должна возрасти.

Однако при этом приходится сталкиваться с трудностями другого рода.

На рис. 114, представляющем схему процесса копирования в диффузном свете (оба слоя обращены), видно, что в результате такого рассеяния свет, проходя в косом направлении через красные зерна, засвечивает частично эмульсию под соседними синими и зелеными зернами. В результате обращения соседние синие и зеленые зерна частично открываются, как показано на рис. 115, что приводит к понижению насыщенности красного цвета, который загрязняется примесью синего и зеленого.

Такая потеря в насыщенности может происходить в некоторой степени и при параллельном освещении и вызывается в этом случае рассеянием света в самом эмульсионном слое. В силу этого действие красного света не ограничивается только красными зернами, но распространяется в некоторой степени и на соседние (рис. 116).

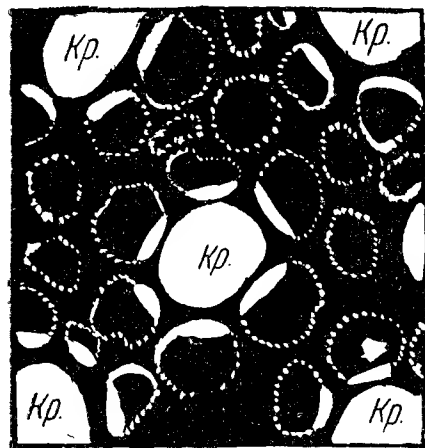


Рис. 116. Потеря в насыщенности из-за рассеяния света

Этот эффект рассеяния света в эмульсии может быть в значительной степени ослаблен, если для первого проявления копии пользоваться так называемым „глубинным проявителем“, который воздействует по преимуществу на внутренние части слоя, непосредственно примыкающие к растровым элементам.

Эффект рассеяния особенно выражен в наружных частях слоя и такое глубинное проявление может значительно смягчить его вредное влияние.

В качестве примера приведем рецепт такого проявителя, предложенного Спенсером для пленок Дюфей.

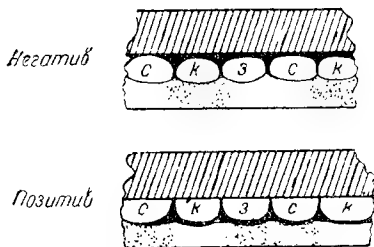


Рис. 115. Потеря в насыщенности из-за рассеяния света

Метол	10 г
Сульфита кристаллического	30 "
Едкого натра	10 "
Гипосульфита	20 "
Бромистого калия	7 "
Воды	до 1 л

Ослабив в той или иной степени эффект рассеяния света путем глубинного проявления, мы, однако, не ликвидируем еще всех трудностей, связанных с репродуцированием растровых снимков.

Обсуждая вопросы влияния параллельного или диффузного света, мы исходили из того, что красные лучи проходят только через красные зерна и полностью задерживаются синими и зелеными. В действительности дело обстоит не совсем так. Кривые пропускания растровых элементов сильно перекрывают друг друга (рис. 111). Это значит, что белый свет

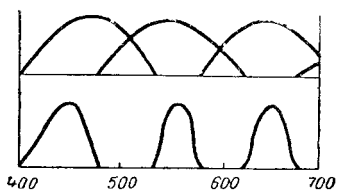


Рис. 117. Идеальные анализирующие фильтры

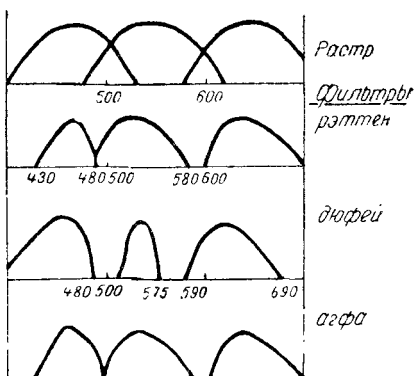


Рис. 118. Анализирующие фильтры

после прохождения через красные зерна не полностью отфильтровывается от зеленых лучей и может еще проходить через зеленые зерна. Легко видеть, что при репродуцировании это приведет к засвечиванию под соседними зернами и, следовательно, к потере насыщенности.

Для избежания этого при копировании следует пользоваться светом такого спектрального состава, чтобы он мог проходить только через какой-либо один сорт растровых элементов.

Если мы отфильтруем свет с помощью так называемых „анализирующих“ фильтров, кривые пропускания которых приведены на рис. 117, то, как видно, наше требование будет выполнено. Красный свет, пропущенный красным анализирующим фильтром, сможет пройти только через красные зерна и задержится синими и зелеными.

Практически фильтры с такими кривыми пропускания осуществить нельзя, поэтому довольствуются более широкими (рис. 118).

Пользование этими фильтрами происходит таким образом, что оригинал трижды экспонируют на одну и ту же растровую пластинку, каждый раз применяя один из анализирующих фильтров.

Суммируя все вышесказанное, мы видим, что наименьшие искажения в передаче насыщенности светлоты при репродуцировании растровых диапозитивов получаются, если копирование ведут в рассеянном свете, пользуются глубинным проявлением и применяют анализирующие фильтры.

Полученные таким способом растровые копии будут, подобно оригиналу, представлять собою диапозитивы. Весьма желательно получить репродукцию с такого снимка в виде отпечатка на бумаге.

Непрозрачные изображения на бумаге не могут быть получены по любому из аддитивных способов, в том числе и по растровому, поэтому приходится прибегать к субтрактивным методам воспроизведения.

Единственно возможный путь для получения субтрактивных копий с растрового оригинала состоит в получении с него трех цветоделенных негативов и дальнейшей их обработки по любому из субтрактивных способов, соблюдая при этом те же три условия, которые были нами установлены для случая репродуцирования на растровых материалах.

9. ОПТИЧЕСКИЕ РАСТРЫ

Чрезвычайно остроумным и изящным выполнением растрового принципа являются те методы, в которых растровые элементы являются только оптическим изображением цветоделящего фильтра, помещенного перед объективом (оптические растры).

Этот способ получения растровых изображений был изобретен Бертоном и Келлер-Дорианом и выпущен впервые на рынок в 1928 г. фирмой Кодак под названием „Кодаколор“.

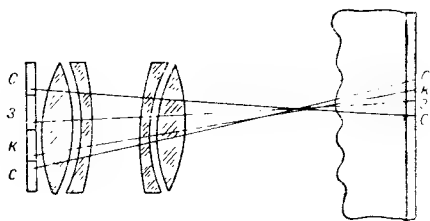


Рис. 119. Схема способа „Кодаколор“

Принцип метода может быть пояснен с помощью рис. 119. Целлулоидная подложка пленки, применяемой в этом способе, покрыта рядами микроскопических цилиндрических линз, выгравированных на целлулоиде. Пленка закладывается в камеру целлулоидной стороной к объективу, на который надевается специальный светофильтр, состоящий из трех цветных полос — красной, синей и зеленой.

Свет, исходящий из объектива, прежде чем попасть на эмульсию, должен пройти через упомянутые крошечные целлулоидные линзочки, каждая из которых дает на эмульсионном слое изображение трех полос фильтра. Образование цветного изображения при этом способе показано на рис. 120.

Пусть воспроизводимый объект отражает только синие лучи. Они пройдут через синюю часть фильтра и, будучи собраны одним из линзовых элементов, осветят эмульсию на одной трети площади, занятой этим элементом. После проявления это место эмульсии почернеет. Пленка затем

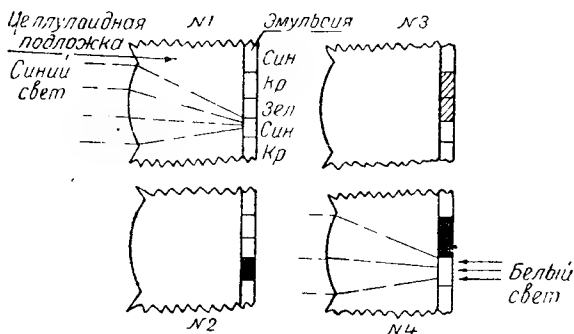


Рис. 120. Получение изображения при линзовом растре

подвергается процессу обращения, в результате чего участок, соответствующий синей полосе фильтра, остается прозрачным, в то время как остальные два закрываются металлическим серебром. То же самое происходит под всеми другими линзовыми элементами, и в результате этого мы получаем изображение, в котором металлическое серебро закрывает все те места, на которые попадают лучи, прошедшие через красный и зеленый сегменты фильтра.

Для воспроизведения полученного изображения в натуральных цветах пользуются оптическим принципом обратимости, который заключается в том, что если лучи, исходящие от некоторого предмета, сходятся в фокусе оптической системы, то, поместив в этом фокусе источник света и пропустив лучи от него сквозь оптическую систему в обратном направлении, мы заставим все эти лучи сойтись в точке, занимаемой нашим предметом. Поэтому, если осветить изображение на пленке белым светом, то лучи света проделают обратный путь и, выйдя из объектива, пройдут только через синее поле фильтра. В результате этого мы получим на экране синее изображение.

Таким образом способы с оптическим растром рассчитаны только для проекции цветных изображений, так как воссоздание цветного изображения возможно только в результате проекции.

Такая же пленка с линзовым растром выпускается фирмой Агфа под названием „Агфаколор“ (не смешивать со способом „Новый Агфаколор“, основанным на субтрактивном принципе с цветным проявлением).

Оптические растровые способы применяются по большей части для любительской кинематографии, в особенности на субстандартных размерах. Возможность получения изображений только при проекции представляет собой самый серьезный недостаток этого рода процессов.

10. ОБЩАЯ ОЦЕНКА РАСТРОВЫХ СПОСОБОВ

Преимущества и недостатки, общие всем способам с мозаичным растром, могут быть вкратце сформулированы в следующем виде:

Преимущества

Способ допускает легкое получение моментальных фотографий с выдержкой до 0,01 сек.

Не требуется никакой специальной камеры.

Время для изготовления цветного изображения не превышает 1—2 часов с момента съемки.

Качество изображения очень хорошее и точность передачи цветов обычно выше, чем для субтрактивных процессов (см. главу XII).

Большая простота всех операций.

Стоимость оригинального цветного изображения невысока.

Недостатки

Широта экспозиции мала и интервал правильно передаваемых яркостей весьма невелик.

Копирование изображений и получение копий на бумаге весьма затруднительно и сопряжено с неизбежной потерей в насыщенности цветов.

Ретушь и исправление отдельных мест почти невозможны.

Также невозможна коррекция цветопередачи с помощью масок.

Сравнительно малая устойчивость к действию света и тепла.

Затруднения при полиграфическом воспроизведении из-за наличия растровой сетки.

Несмотря на довольно существенные недостатки, преимущества этого процесса настолько велики, что он заслуженно пользуется все большим распространением на Западе.

Растровые способы являются излюбленными для любительской работы, где вопросы размножения копий, являющиеся камнем преткновения для этих методов, отходят на второй план. Здесь особенно ценятся прекрасное качество изображений и легкость съемки и обработки. Фактически только растровые материалы (наряду с методами цветного проявления) дают любителю возможность производить моментальные съемки.

Исключительное качество цветопередачи, достигаемое с растровыми материалами, делает их незаменимыми для всякого рода научных и технических съемок, имеющих целью иллюстрацию всякого рода сообщений с помощью цветных диапозитивов.

Сравнительно большая простота обработки достигается растровыми способами за счет весьма значительной сложности технологического процесса фабрики материалов.

ГЛАВА XII

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА ЦВЕТОПЕРЕДАЧИ ДЛЯ РАЗЛИЧНЫХ СПОСОБОВ ЦВЕТНОЙ ФОТОГРАФИИ. ЭСТЕТИЧЕСКИЕ СООБРАЖЕНИЯ

1. ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ЦВЕТНОГО ИЗОБРАЖЕНИЯ

При оценке качества цветного фотографического изображения приходится считаться с тем, что кроме научной и технической съемки, где единственной задачей является получение возможно точной передачи цветов оригинала, цветное изображение преследует определенные эстетические задачи. Для этого вовсе не требуется, чтобы цветное изображение вызвало в отдельных своих точках то же цветовое ощущение, что и соответствующие места объекта. Цветная репродукция может иногда весьма значительно уклоняться от оригинала по светлоте и цветности без того, чтобы выглядеть неестественной.

Эстетические соображения, примешивающиеся невольно к нашей оценке качества цветного изображения, носят, конечно, весьма субъективный и неопределенный характер. Желая оставаться на почве объективных суждений, которые могли бы лечь в основу определенных технических мероприятий, мы вынуждены считать правильность цветопередачи единственным надежным критерием качества репродукции, заранее оговариваясь, что этим мы охватываем нашу задачу частично. В конце главы мы попытаемся дать некоторые общие соображения эстетического порядка.

2. СРАВНЕНИЕ АДДИТИВНЫХ И СУБТРАКТИВНЫХ СПОСОБОВ

Рассматривая растровые способы как единственные из аддитивных, имеющие практическое значение для фотографии, мы указывали, что некоторые практические условия требуют известного компромисса в отношении требований

к анализирующим фильтрам. В силу этого компромисса приходится применять фильтры не совсем такие, какие требуются теорией. В особенности это относится к тем случаям, когда растр не является съемным. Согласно теории (см. главу III), анализирующие фильтры должны воспроизводить кривые сложения, т. е. быть довольно широкими. В то же время первичные цвета, из которых синтезируется изображение, желательно иметь возможно более насыщенными, что означает желательность возможно более узких фильтров для рассматривания. Так как нежелание удлинять экспозицию вынуждает склоняться к применению довольно широких светофильтров, то первичные цвета оказываются недостаточно насыщенными, в силу чего страдает насыщенность цветов изображения. Компромисс приводит и к тому, что съемочные фильтры тоже не совсем такие, какие требуются, в силу чего появляются новые цветовые искажения. Особенно заметен недостаток в насыщенности желтых и приобретение красными оранжевого оттенка.

Синие, зеленые и красные цвета передаются в аддитивных способах лучше, чем желтые, сине-зеленые и пурпуровые. Как мы увидим далее, передача сине-зеленых и пурпуровых тонов в аддитивных процессах все же лучше, чем при субтрактивных, и только в воспроизведении насыщенных желтых тонов аддитивные способы уступают субтрактивным.

Основным недостатком аддитивных процессов является значительная потеря в светлоте, вынуждающая применять их только для прозрачных изображений. Растровый слой поглощает в самом лучшем случае не менее 80% света и поэтому белый цвет на растровой пластинке в сущности передается в виде серого с оптической плотностью около 0,7. При рассматривании растрового диапозитива в проходящем свете мы устраняем боковой свет и тогда, в силу адаптации глаза, воспринимаем ослабленный свет, прошедший через „белые“ места, как чисто белый. В отраженном свете это невозможно и потеря в светлоте в этом случае будет заметна в виде серого цвета белых мест и грязной окраски цветов.

В силу тех же явлений адаптации мы воспринимаем весьма темный желтый свет, пропускаемый красными и зелеными растровыми элементами, как довольно яркий желтый, в то время как та же аддитивная смесь при рассматривании в отраженном свете выглядела бы грязно-бурой (желтый с сильно пониженной светлотой).

При рассматривании цветных изображений на просвет, независимо от того, сделаны ли они по аддитивному или по субтрактивному способам, мы находимся в гораздо более благоприятных условиях, чем при непрозрачных изоб-

ражениях на бумаге. Особенно это проявляется в тех случаях, когда изображение рассматривается путем проекции в условиях, исключающих всякое попадание бокового рассеянного света и обеспечивающих хорошую цветную адаптацию. Здесь мы оцениваем цвета изображения, в частности белый, только между собой, без сравнения с окружающими, что создает впечатление значительного выигрыша в насыщенности. Отчасти такой эффект вызывается и чисто физическими причинами, связанными с окраской прозрачных тел.

К существеннейшим недостаткам растровых методов следует отнести также трудность и несовершенство способов получения копий.

Кроме того малая широта употребляемых для этого фотографических материалов является также серьезным препятствием. Это затруднение присуще также тем субтрактивным процессам, которые связаны с явлениями обращения (цветное проявление и др.).

Тем не менее, несмотря на эти недостатки, усугубляемые еще невозможностью исправления цветового баланса, растровые методы являются наиболее удобным способом для любителя. Они весьма легко без помощи каких-либо специальных операций обеспечивают получение высококачественных цветных изображений, отличающихся необычайно приятной и богатой гаммой окрасок и особенной точностью цветопередачи.

В то время как при аддитивных способах аккуратное соблюдение всех условий работы дает цветное изображение, которое, грубо говоря, на 90% удовлетворяет требованиям точной цветопередачи, это, к сожалению, не имеет места в субтрактивных процессах. Недостатки в цветопередаче в этом случае в основном вызываются несовершенством применяемых красок и пигментов, в особенности пурпуровых и сине-зеленых. Вполне естественное требование светопрочности, которое мы вправе предъявить к применяемым пигментам, еще более затрудняет подбор красителей с надлежащей спектральной характеристикой.

В качестве примера рассмотрим воспроизведение некоторого сине-зеленого цвета по аддитивному и субтрактивному способам (рис. 121). Воспроизводимый цвет, кривая спектрального отражения которого изображена сверху, может быть передан при субтрактивном способе с помощью сине-зеленого пигмента, кривая отражения которого приведена слева. В аддитивном процессе этот цвет воспроизводится с помощью света, прошедшего через синий и зеленый фильтр (правая кривая). В этом случае мы получаем гораздо более правильное воспроизведение спектральной кривой оригинала, чем в субтрактивном процессе.

Благодаря тому, что желтые красители довольно хорошо приближаются к идеальным требованиям, особенно в смысле отражения красных лучей, и пурпуровые красители в этом отношении также являются удовлетворительными, передача желтых, оранжевых и красных тонов в субтрактивном процессе может быть весьма хорошей.

Применяемые сине-зеленые красители являются главными виновниками недостатков цветопередачи в субтрактивном процессе. Они не только не отражают зеленый свет

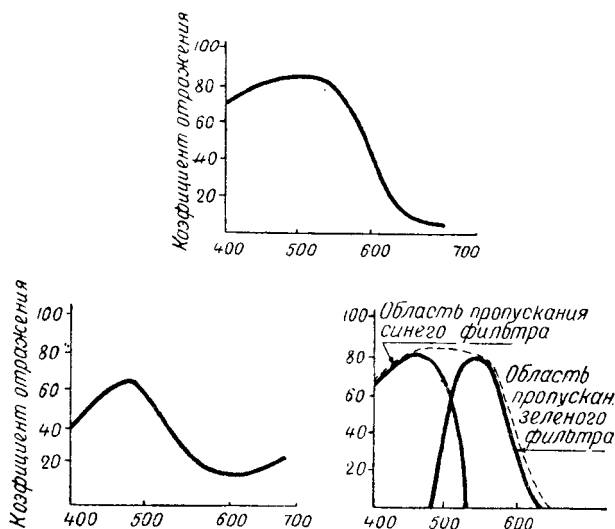


Рис. 121. Передача сине-зеленого цвета по аддитивному и субтрактивному способам

в достаточной степени, но и отражение ими синего оставляет желать много лучшего. Желаемый сине-зеленый цвет, который должен близко подходит к цвету павлиньего пера, не может быть достигнут с существующими светопрочными пигментами, поэтому зеленый цвет, составленный с помощью существующих сине-зеленых и желтых красок, будет передаваться слишком темным.

Казалось бы, что следует всегда пользоваться аддитивными процессами в тех случаях, когда требуется особая точность цветопередачи. Однако не следует упускать из виду того обстоятельства, что при субтрактивных способах мы имеем в большинстве случаев возможность в довольно широких пределах влиять на характер готового изображения путем изменения силы и контраста отдельных цветных изображений.

Недостатки цветопередачи в субтрактивном процессе могут быть в значительной мере устранены применением способа масок, о котором мы говорили ранее. Однако этот последний метод, являющийся, бесспорно, лучшим из способов цветной коррекции, требует высокой квалификации и тонкой техники.

Само собой разумеется, что все вышеизложенные сообщения справедливы только в том случае, если весь процесс получения цветного изображения по тому или иному способу полностью проведен с соблюдением всех необходимых правил и предосторожностей. Нельзя возлагать на самый процесс ответственности за результаты неправильного его проведения.

В заключение нелишне будет дать сжатую сводку общих достоинств и недостатков аддитивных и субтрактивных методов.

Аддитивные растровые методы

Преимущества

Можно легко получить без помощи специальных камер моментальные снимки с выдержками до $1/100$ сек. при благоприятных условиях.

Стоимость применяемых материалов и обработки сравнительно низка.

Операции, необходимые для получения готового цветного изображения, весьма просты и требуют мало времени.

Цветопередача очень хороша.

Недостатки

Широта экспозиции мала, что требует точного определения выдержки и вынуждает избегать больших контрастов яркости.

Внесение поправок в процессе работы или на готовом изображении очень затруднительно или даже совсем невозможно.

Размножение изображений и получение изображений на бумаге очень затруднительно и связано с большой потерей насыщенности и ухудшением цветопередачи.

Невозможно получение изображений большого формата.

Невозможно получать изображения для рассматривания в отраженном свете.

Субтрактивные процессы

Преимущества

Возможность получения изображений любого формата как прозрачных, так и непрозрачных.

Весьма широкая возможность исправления недостатков цветного изображения как путем ретуши, так и в процессе изготовления отдельных изображений.

Возможность коррекции негативов путем применения масок.

Сравнительно легкое (особенно для некоторых способов) получение копий.

Субтрактивные цветные изображения гораздо более подходят для полиграфического воспроизведения, чем растровые.

Недостатки

Для изготовления хорошего отпечатка требуется весьма много времени. Сам по себе цветной позитивный процесс требует обычно немногих часов, но введение всех необходимых поправок, которые только и могут обеспечить первоклассные результаты, сравнимые с аддитивными изображениями, является очень трудоемкой работой и требует довольно высокой квалификации.

В силу этих причин цена первого экземпляра обычно весьма высока.

Для моментальных съемок требуются специальные весьма дорогие и неудобные в обращении камеры.

3. СРАВНЕНИЕ ЦВЕТОПЕРЕДАЧИ В РАЗЛИЧНЫХ СУБТРАКТИВНЫХ ПРОЦЕССАХ

К сожалению, сколько-нибудь объективные и количественные сравнения цветопередачи в различных субтрактивных процессах до сего времени отсутствуют. Для сравнительной оценки можно привлечь лишь соображения общего порядка.

С точки зрения совершенства применяемых красителей гидротипный способ Кодак, Хроматон и Карбро являются почти равноценными. Однако в отношении передачи тонких цветных оттенков и деталей в светах способ Карбро (особенно в его усовершенствованной модификации — способе Вивекс) вряд ли превзойден каким-либо из субтрактивных способов. Эстетическая же ценность цветного изображения в чрезвычайно сильной степени зависит именно от передачи нежных цветовых переходов и нюансов.

4. ПРИМЕНЕНИЕ БОЛЬШЕГО ЧИСЛА ОСНОВНЫХ КРАСОК

Черная краска. Мысль о том, что весьма многие недостатки цветопередачи субтрактивной цветной фотографии могли бы быть устранены применением основных красок-субтракторов в количестве больше трех, весьма часто

высказывается лицами, не уяснившими себе с достаточной отчетливостью основные принципы воспроизведения цвета.

Применение четырех или пяти первичных имело бы какой-то реальный смысл лишь в том случае, если бы для каждого из них готовился соответствующий цветоделенный негатив и позитив. Не говоря уже о том, что это внесло бы громадное усложнение в технику цветной фотографии, такой прием не вызвал бы никакого существенного улучшения.

Причина несовершенства цветопередачи (по крайней мере для обычно встречающихся не слишком насыщенных цветов) лежит не в недостаточном количестве синтезирующих первичных, а в несовершенстве красок-субтракторов, служащих для их выделения. Применение добавочного числа столь же несовершенных субтракторов не вызвало бы заметных улучшений.

Однако, в ряде случаев приходится все же прибегать к введению добавочно четвертой краски, а именно: черной. Хотя черный цвет может быть легко получен наложением всех трех субтракторов в достаточной концентрации, получение нейтрально-серых тонов требует весьма точного соблюдения цветового баланса, что не всегда легко достижимо. Кроме того в тех способах, где применяются весьма прозрачные краски, как в гидротипии, получение глубоких черных тонов является весьма трудной задачей, особенно в случае прозрачных изображений (цветное кино), поэтому добавление четвертого черного изображения, создающего чистые серые и черные тона, может быть весьма полезным.

Наиболее правильно, повидимому, готовить „черный“ позитив со специального негатива, снятого через желтый фильтр.

Само собой разумеется, что это добавочное черное изображение должно быть очень слабым, чтобы не загрязнять излишне цветов. Применение четвертой — черной краски при гидротипных методах (в качестве таковой используется серебряное изображение) уместно еще и потому, что наличие резкого черного контура скрадывает некоторую нерезкость изображения, вызываемую боковой диффузией красителя.

5. НЕКОТОРЫЕ ЭСТЕТИЧЕСКИЕ СООБРАЖЕНИЯ

При работе над цветной фотографией фотографу приходится сталкиваться с явлениями чисто субъективного порядка, обусловленными тем, что он, как правило, переходит к занятиям цветной фотографией лишь по достижении уже весьма высокой степени совершенства в черно-белой фотографии.

Однако даже существование первоклассных лабораторий, занимающихся цветным позитивным процессом, не может автоматически превратить первоклассного монохромного работника в первоклассного цветного фотографа.

Действительно, большинство выдающихся монохромных работников обязано многими из своих успехов именно своему „монохроматическому“ взгляду на природу — способности отвлекаться от многообразия ее цветов. Способность предвидеть эффект перевода красочного объекта в монохромный принципиально отлична от способности компоновать цвета.

Только пониженной чувствительностью к цветам можно объяснить ранние попытки в области цветной фотографии многих выдающихся мастеров цветной композиции, в которых из всех цветов отсутствовали разве только инфракрасный и ультрафиолетовый.

Стремление нагромождать побольше ярких цветов является „детской болезнью“, через которую неизбежно проходят почти все начинающие заниматься цветной фотографией. И лишь постепенно, длинным путем ошибок и неудач они приходят к основному эстетическому правилу: наиболее приятны те цветные фотографии, в которых цвет, как таковой, почти отсутствует.

Немалым психологическим затруднением для начинающего „цветного фотографа“ является сложная техника цветной фотографии, требующая для своего освоения довольно солидных теоретических знаний. В цветной фотографии (по крайней мере на настоящем этапе ее развития) совершенно необходимым условием успешной работы, в особенности серьезной творческой, является отчетливое представление смысла и значения каждой операции, трезвая оценка возможностей съемки в каждом отдельном случае и предвидение результатов. Это требует глубокого и серьезного знания теории и техники процесса.

Наряду с этим умение учесть эстетическую сторону является не менее важным, поскольку речь идет в большинстве случаев о получении результата с определенной художественной значимостью.

Комбинация в одном лице ученого с художником, которая была бы, конечно, идеальной для этих целей, — слишком редкое явление. Можно полагать, что Леонардо да Винчи, если бы он жил в наше время, мог бы быть выдающимся цветным фотографом, если бы, конечно, он предпочел фотографию живописи.

Самое большее, на что можно надеяться и к чему следует стремиться, это создать в этой области такую кооперацию между учеными и художниками, при которой существовало бы взаимное понимание перспектив и трудностей, имеющихся у каждой из этих групп.

Второй источник трудностей, часто дающий повод к утверждению, что „монохромная фотография лучше всякой цветной“, кроется в том невыгодном по сравнению с черно-белой фотографией положении, в котором находится цветная.

Для монохромной фотографии имеются психологические основания допустимости таких широких отклонений от правильной передачи тонов, которые совершенно немыслимы в цветной фотографии.

Поскольку монохромная фотография передает все многообразие цветов природы в виде шкалы ахроматических серых тонов, при ее рассматривании у нас не возникает искушения сравнивать ее с природой. Такое сравнение в действительности и невозможно, потому что тела природы всегда окрашены. Поэтому, не имея стандарта для сравнения, наш разум приучается воспринимать монохромную передачу как приятную или неприятную, а не как истинную или искаженную передачу светлот оригинала (разумеется, если это искажение не превышает известных, весьма широких пределов).

Напротив, цветную фотографию, уже по той причине, что она цветная, мы вольно или невольно рассматриваем как более или менее удачную копию природы и с этой точки зрения ее и оцениваем. Если учесть к тому же, что степень различаемости цветовых оттенков гораздо выше, чем различаемость светлот, то требования к хорошему качеству цветной репродукции станут еще более суровыми.

Наконец, третьим препятствием является техническое несовершенство приемов и способов цветной фотографии. Здесь мы имеем в виду не столько то несовершенство методов и пигментов, о котором речь шла неоднократно в предыдущих главах, а затруднения принципиального порядка, связанные с самим принципом механического воспроизведения цвета.

В главе II мы уже видели, как художник-живописец может с помощью умелой трансформации цветов и надлежащего использования явлений контраста добиться получения тех эффектов освещения, которые он был бы бессильен получить другим путем. В этом отношении цветная фотография, будучи в конечном счете только механическим способом воспроизведения, почти бессильна.

Тем большее художественное чутье и технические знания требуются от цветного фотографа, чтобы организовать снимаемую им натуру таким образом, чтобы добиться максимального эстетического эффекта только при правильной передаче без внесения дополнительных поправок.

Здесь уместно было бы сказать несколько слов о той, так называемой „лубочности“ цветов, в которой так часто

упрекают цветную фотографию. Наиболее распространенное мнение о причине такой „лубочности“ состоит в том, что полагают, будто ее возникновение вызывается повышенной по сравнению с натурой насыщенностью цветов.

Однако, как мы уже знаем, при синтезе цвета происходит неизбежная, иногда довольно значительная потеря насыщенности. Кроме того, как раз наиболее лубочное впечатление производят цветные фотографии, выполненные с помощью устаревших несовершенных методов, в которых потеря насыщенности особенно значительна.

Причину возникновения „лубочности“ следует искать не в преувеличенной насыщенности цветов репродукции, а совсем в другом. Художественная ценность цветной композиции в громадном большинстве случаев зависит от наличия тонких переходных нюансов окраски, смягчающих слишком резкие переходы от цвета к цвету.

В мало совершенных способах цветной фотографии эти нежные оттенки цветов не передаются и оставшиеся резко отграниченные, лишенные переходов цвета производят на наш глаз кричащее, безвкусное, „лубочное“ впечатление.

Следует также учитывать еще и то обстоятельство, что в условиях малых по сравнению с оригиналом размеров цветной фотографии все явления контраста сильно возрастают.

УКАЗАТЕЛЬ ГЛАВНЕЙШЕЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бокиник Я. И. Оптическая сенсibilизация фотографических слоев, стр. 161 — 168. Изд-во „Искусство“, М.-Л., 1937 г.
2. Гольдберг Е. Образование фотографического изображения. Изд-во „Огонек“, М. 1929 г.
3. Гюбль, Гребе и Уолл. Цветная фотография. Гизлегпром. М., 1933 г.
4. Клейн А. Цветная кинематография. Госкиноиздат, 1939 г.
5. Клепиков П. В. Позитивные процессы на солях хрома. Госкиноиздат, М., 1938 г.
6. Нюберг Н. Д. Курс цветоведения. Гизлегпром, М. 1932 г.
7. Отчет Государственного оптического института (ГОИ) по теме Ф-108 за 1935 г.
8. Отчет НИКФИ по теме ТС-2 за 1937 г.
9. Отчет НИКФИ по теме Ц-27 за 1937 г.
10. Отчеты научно-исследовательской лаборатории Главфотопрома за 1937 — 1938 гг.
11. Фаас В. А. Светофильтры. Кинофотоиздат, М., 1936 г.
12. Федоров Н. Т. Современное состояние колориметрии. Техничко-теорет. изд-во. М.-Л., 1933 г.
13. Федоров Н. Т. Общее цветоведение. М., 1939 г.
14. Aron. Influence of Selective Absorption of Three-Colour Inks on Character of Reproduction. Photogr. Journ., 73, 197 (1933).
15. Baumbach. Improved Multi-Colour Carbro, Amer. Phot., may, 325 (1936).
16. Biehler. Über die Agfa-Bipack-Kinematographie. Agfa-Veroffent, III, 221 (1933).
17. Bierman. Exposure and Exposure Meters in Colour Photography. Phot. Journ., 76, 119 (1936).
18. Biltz. Farbtreue photographische Wiedergabe durch Farbträsterplatten- und Filmen. Agfa-Veroffent., III, 188 (1933).
19. Biltz und Eggert. Die Lichtausbeute des Chromatgelatine-Process. Agfa-Veroffent, III, 294 (1933).
20. Boucek. Procédé de IX Congr. Intern. de Photography. Paris, p. 152 (1936).
21. Bull, Oliver and Spencer. Accuracy Attainable by Straightforward Colour Reproduction. Phot. Journ., 73, 359 (1933).
22. Coppin. Making Three-Colour Separation Negatives. Phot. Journ., 73, 402 (1933).
23. Coote. The Duxochrome Process of Colour Photography. Phot. Journ., 76, 125, 225 (1936).
24. Defender Chromatone Process, Defender Co.
25. Dunn. Natural Color Processes.
26. Easton. Practical Experiences with Duxochrome Colour Process. Brit. Journ. Phot. Colour Suppl., 39 (1933).

27. Eggert und Heymer. Der Stand der Farbenphotographie. *Agfa-Veroffent*, V, 7 (1937).
28. Elöd and Berezelli. *Kolloid-Zelt.*, 74, 305; 75, 66, 202 (1936).
29. Evans. A Color Densitometer for Subtractive Processes, *Journ. Mod. Pict. Eng.*, 31, 194 (1938).
30. Hardy. *Handbook of Colorimetry*. Technology Press, Cambridge, Mass. 1936.
31. Hardy and Perrin. *Journ. of Frankl. Inst.* 205, 197 (1928).
32. Hardy and Wurzburg. Theory of Three-Color Reproduction. *Journ. Opt. Soc. Am.*, 27, 227 (1937).
33. Harrison and Horner. A Theory of Three-Colour Additive Photography. *Photogr. Journ.*, dec. (1937).
34. Heymer. Auflösungsvermögen und Farbenwiedergabe in der Farbrasterphotographie. *Agfa-Veroffent*, III, 188 (1933).
35. Heumer und Sundhoff. Über die Messung der Gradation von Farbenfilmen. *Agfa-Veroffent*, V, 62 (1937).
36. Judd. A Maxwell Triangle Yielding Uniform Chromaticity Scales. *Journ. Opt. Soc. Am.*, 25, 24 (1935).
37. Keppler. *The Eighth Art*, N.-Y., 1939.
38. Lighton. A Contribution to the Theory and Practice of the Carbro Process. *Photogr. Journ.*, 51, 362, 409 (1927).
39. Lumière et Seyewetz. *Bull. Soc. Fr. Phot.*, 20, 73 (1904); 21, 440, 461 (1905)
40. Mac Adam. Projective Transformations of I. C. I. Color Specifications. *Journ. Opt. Soc. Am.* 27, 294 (1937).
41. Mac Adam. Photographic Aspects of the Theory of Three-Color Reproduction. *Journ. Opt. Soc. Am.*, 28, 399, (1938).
42. Mac Adam. Subtractive Color Mixture and Color Reproduction. *Journ. Opt. Soc. Am.*, 28, 466 (1938).
43. Marden. *Color Photography with Miniature Cameras*.
44. Meidinger. Die theoretische Grundlagen der photographischen Prozesse, s. 439 — 459 (1932).
45. Newens. A New Formula and Method for Three-Colour Carbro-Photogr. *Journ.*, 70, 188 (1930).
46. Panchromatism, Ilford Ltd.
47. *The Photography of Coloured Objects*, Kodak Ltd, 1934.
48. Potter. Methods of Making Three-Color Separation Negatives. *Defender C°*.
49. Priest and Brickwedde. The Minimum Perceptible Colorimetric Purity as a Function of Dominant Wave-Length. *Journ. Opt. Soc. Am.*, 28, 133 (1938).
50. Seymour. Eastman Wash-off Process. *Amer., Phot.*, april, 208 (1936).
51. Sharp. Dyebro. *Phot. Journ.* 70, 193 (1930).
52. Spencer. Filters for Subtractive Colour Photography. *Photogr. Journ.*, 75, 377 (1935).
53. Spencer. *Colour Photography in Practice*. 1938.
54. Spencer. Reproducing Screen Plates. *Photogr. Journ.*, 73, 19(1933).
55. Tritton and Newens. The Theory and Practice of Three-Colour Negative Making. *Photogr. Journ.* 70, 358 (1930).
56. Wendt. Die wichtigsten Verfahren zur Herstellung färbiger Aufsichtsbilder. *Agfa-Veroffent.*, V, 48 (1937).
57. Wratten Light Filters, Kodak C°, 1934.
58. Yule. The Conditions of Perfect Color Rendering. *Journ. Opt. Soc. Am.* 28, 466 (1938).
59. Yule. Predictions of Errors in Color Rendering. *Journ. Opt. Soc. Am.*, 28, 481 (1938).